

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

**Racionalizace obrábění válce ze slinutého
karbidu pro válcování drátu**

**Rationalization of Sintered Carbide Valve
Machining for Wire Rolling**

Student:

Bc. Jan Verlík

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Verlík**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Racionalizace obrábění válce ze slinutého karbidu pro válcování drátu**
Rationalization of Sintered Carbide Valve Machining for Wire Rolling

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Problematika obrábění tvrdých materiálů.
3. Popis stávající technologie výroby.
4. Návrh nové technologie obrábění.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

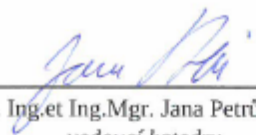
- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [4] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017


doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 10.5.2017



podpis studenta

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita báňská (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmů z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, který je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

10.5.2017
V Ostravě



.....

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Jan Verlík

Adresa trvalého pobytu autora práce: Lidická 550, Třinec, 739 61

Poděkování:

Za cenné rady, příspěvky a odborné vedení bych chtěl poděkovat doc. Ing. Robertu Čepovi. Dále bych chtěl poděkovat kolektivu z firmy SAS za umožnění praktických testů a praktického výzkumu dané problematiky

Velké díky patří panu Liboru Paszovi, Robertu Gančarčíkovi za přínosné informace k problematice a v neposlední řadě také panu Ing. Kujawovi za možnost diplomovou práci ve firmě SAS, a.s. zpracovat.

V neposlední řadě bych také chtěl poděkovat mé rodině, zejména mamce, sestře a mé přítelkyni za podporu a zázemí při studiu.

Anotace diplomové práce

Bc. VERLÍK, J. *Racionalizace obrábění válce ze slinutého karbidu pro válcování drátu: Diplomová práce*

Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2017 62 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Předkládaná diplomová práce se zabývá problematikou obrábění těžkoobrobitelných tvrdých materiálů, konkrétně slinutého karbidu technologií soustružením. V teoretické části jsou shrnuty základní údaje o tvrdých materiálech jejich mechanických vlastnostech, možnostech obrábění. Dále jsou v teoretické části uvedeny možnosti užití materiálu pro VBD soustružení a v neposlední řadě je představen válec pro válcování drátu, který je z materiálu WCCoNiCr, jenž je klasickým představitelem těžkoobrobitelného tvrdého materiálu (slinutého karbidu).

Praktická část je věnována problematice obrábění WCCoNiCr válce předhotovni válcovací stolice, jenž je ve stávající technologii výroby broušen. Tato technologie je oproti soustružení méně produktivní avšak nenahraditelná pro výrobu válců pro válcování hotovního pořadí válcovací tratě. Možnost, kde nahradit broušení soustružením se tak naskýtá právě u předhotovničních válců válcovací tratě, jež nemají tak přísné tolerance a požadavky na drsnost a skladba válcovací tratě umožňuje tyto válce předhotovničních stolic soustružit. Dále je možnost využít soustružení jako hrubovací činnost pro hrubování tvaru válcovacího profilu, který je následně dobroušen a tak snížit čas pro obrobení.

V praktické části jsou testovány VBD různých druhů CBN a zkoumána jejich výdrž a opotřebení. Dále pro vyhodnocení procesu soustružení je naměřena drsnost, která musí odpovídat předepsaným požadavkům na výkrese.

Diplomová práce řeší problém zvýšení efektivity, produktivity a snížení nákladovosti bez vlivu na kvalitu procesu.

Annotation of Master thesis

Bc. VERLÍK, J. *Racionalization of Sintered Carbide Valve Machining for Wire Rolling: Master Thesis.*

Ostrava: VŠB – Technical university Ostrava, Faculty of machine, Department of Machining, Assembly and Metrology, 2017 62 1. Thesis head: doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Master thesis is dealing with problems of difficult cutting hard materials specifically sintered carbide turning roll. The theoretical part are summarizes the hard materials, mechanical properties and precossing possibilities. Furthermore, the theoretical part mentioned possibilities of use of the materials for the turning inserts and finally is introduced roller for wire rolling, which is from WCCoNiCr materiál which is classic representative type of difficult hard materiál (sintered carbide).

The practical part is dedicated to problematic machining WCCoNiCr roll of wire rod mill which is in the current technology is grinded. This technology is less productive compared to turning but indispensable for the production of rolls for rolling mill of prefinishing mill. Possibilities where replace grinding by turning emerges just prefinishing rolls of wire rod mill, which are less stringent tolerance requirements and roughness and composition of rod mill allows these rollers of prefinishing mill can be machine by turning. The next posibility to use turning is like turning roughing which will be grinded after turning.

In the practical part are tested inserts of different kinds of CBN and examined their endurance and wear. Furhter, for evaulation of turning will be measured roughness, which must comply with the requirements prescribed in the drawing.

This master thesis solves the problém of increased efficiency, productivty and reduction of costs without affecting the quality.

Obsah:

1. Úvod diplomové práce.....	1
2. Seznam použitých značek a symbolů	2
3. Úvod do problematiky těžkoobrobitelných materiálů	3
3.1 Obrobitelnost materiálu	3
3.1.1 Vliv mikrostruktury na obrobitelnost	6
3.1.2 Vliv chemických prvků na obrobitelnost.....	7
3.2 Rozdělení obráběného materiálu dle ISO 513.....	8
3.3 Technologie obrábění těžkoobrobitelných materiálů	11
3.3.1 Obrábění bez procesní kapaliny (DM).....	11
3.3.2 Obrábění s použitím procesní kapaliny (WM)	13
3.3.3 HSC obrábění.....	16
3.3.4 Broušení	19
3.4 Řezné materiály pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů.....	22
3.4.1 Keramika.....	24
3.4.2 Cermety.....	25
3.5 Slinuté karbidy – materiál obrobku	27
4. Popis stávající technologie výroby	29
4.1 Úvod do problematiky	29
4.2 Broušení kalibrů	39
Stroj.....	39
Nástroj.....	40

5. Návrh nové technologie výroby	43
5.1 Stroj a upnutí obrobku a nástroje.....	43
5.2 Výrobní postup součásti	45
5.3 Volba VBD pro soustružení	48
5.3.1 MBN 3500 s fazetkou (sražením hrany).....	48
5.3.2 MBN 3500 bez sražení	48
5.3.3 SCBN250	49
5.3.4 SCBN120	49
5.4 Řezné podmínky.....	50
5.5 Výsledky a poznatky z testů VBD.....	51
5.5.1 MBN 3500 s fazetkou	51
5.5.2 MBN 3500 bez fazetky	51
5.5.3 SCBN250 a 5.5.4 SCBN120.....	51
5.5.4 Celkové hodnocení VBD	52
5.5.5 Makrografické snímky opotřebení VBD	52
5.6 Měření drsnosti povrchu po obrobení.....	53
5.7 Technicko-ekonomické zhodnocení	54
5.8 Návrh pro další oblast výzkumu	56
6. Závěr	57
Užitá literatura.....	58
Přílohy	62

1. Úvod diplomové práce

Aktuální trend ve strojírenském průmyslu je dán především neustálými inovacemi technologií. Tyto inovace jsou podmíněny neustále se zvyšujícími požadavky průmyslových podniků na zvýšení kvality, jakosti a kvantity výrobků. Tyto aspekty vedou k neustálému zdokonalování výrobních procesů a také vedou k zavádění nových technologií, které úspěšně řeší výše uvedené požadavky.

V okruhu obrábění se neustále zvyšuje tlak na efektivitu obrábění, která je dána mnoha aspekty. Z těchto aspektů jsou nejdůležitější optimální volba rezných podmínek, volba správného materiálu, geometrie nástroje a v neposlední řadě také stroj. Tyto aspekty spolu dále umožňují vytvoření požadované kvality obrobku, splnění přesností a jejich správná volba přímo ovlivňuje ekonomičnost celého výrobního procesu.

Při obrábění tvrdých a těžko obrobitelných materiálů je k dosažení přesnosti a drsnosti zapotřebí často metody broušení. Moderní trendy v oblasti obrábění nám však umožňují použít nástroje s definovanou geometrií rezného klínu a tak tyto nástroje postupně nahrazují operaci broušení soustružením. Pro správnou funkci rezného klínu musí být však zabezpečeny podmínky, které eliminují poškození rezné hrany. Při obrábění tvrdých materiálů je pak jedním z nejdůležitějších požadavků odvod tepla z místa plastické deformace a dále dostatečné zajištění tuhosti soustavy stroj-nástroj-obrodek. Pokud zajistíme výše uvedené požadavky, dosáhneme jak vysoké přesnosti, tak nízké drsnosti obrobeného povrchu.

Diplomová práce se zabývá problematikou obrábění válečku ze slinutého karbidu. Jelikož se jedná o extrémně tvrdý materiál, byla stávající metoda broušení diamantovými kotouči jednou z cest, jak dosáhnout požadované přesnosti a drsnosti obrobku. Konkrétní tvar obrobku (kalibru pro válcování) je však na nejvyšší vhodný pro aplikaci metody soustružení. I když tato metoda skrývá určitá úskalí jako například správné volby materiálu, geometrie nástroje a rezných podmínek, může však přinést vyšší efektivitu výroby a také v neposlední řadě ušetření životního prostředí.

2. Seznam použitých značek a symbolů

Al ₂ O ₃	Korund	
CAM	Computer Aided Manufacturing – počítačová podpora výroby	
CBN	Kubický Nitrid Bóru	
CNC	Computer Numerical Control	
CL	Předhotovná stolice	
Co	Kobalt	
CVD	Chemical Vapour Deposition – chemická metoda povlakování	
DIN	Deutsche Industrie-Norm – Německá národní norma	
DM	Dry Machining – suché obrábění	
HRA	Tvrdost dle Rockwella	
HRC	Tvrdost dle Rockwella	
HSC	High Speed Cutting – vysokorychlostní obrábění	
i _o	Index obrobitelnosti	
ISO	Norma	
K _s	Kus	
K _{ic}	Lomová houževnatost	[MPa·m ^{1/2}]
PVD	Physical vapour deposition - fyzikální metoda povlakování	
Ra	Střední aritmetická odchylka profilu	[μm]
RSM	Reducing Sizing Mill – hotovná válcovací stolice	
TiC	Karbid titanu	
TŽ	Třinecké železářny	
VBD	Vyměnitelná břitová destička	
WM	Wet machining (mokré obrábění)	
WC	Karbid Wolframu	

3. Úvod do problematiky těžkoobrobitelných materiálů

Mezi těžkoobrobitelné materiály mohou být dle zkušeností dodavatelů nástrojů a technologií zařazeny oceli zušlechtěny na vysokou pevnost, vysoce legované chromové oceli, austenitické oceli, niklové a kobaltové slitiny, vysokotavitelné kovy a jejich slitiny i obrábění litiny a vysoce legovaných litin.

Výše uvedené materiály mají vynikající mechanické, chemické i fyzikální vlastnosti, a mohou být užívány v leteckém, potravinářském i medicínském průmyslu. Mezi další široké využití mohou být těžce obrobitelné materiály využity zejména v těžkých provozech typu válcoven, koksoven a dalších podobných zařízeních. Mezi těžkoobrobitelné materiály dále můžeme zahrnout také obrábění slinutých karbidů (tvrdokovů) kterými se tato diplomová práce bude zabývat.

3.1 Obrobitelnost materiálu

Pod pojmem obrobitelnost označujeme souhrnný vliv fyzikálních vlastností a chemického složení kovů na průběh a na ekonomické, popř. kvalitativní výsledky procesu řezání. Lze ji obecně posuzovat z hlediska vlivu materiálu obrobku na intenzitu otěru, energetické bilance procesu řezání a také jejich vlivu na proces tvoření třísky a vytváření nového povrchu na obrobku. [1]

Existuje vztah stupně obrobitelnosti kovů k velikosti jednotlivých faktorů, které jsou součástí procesu řezání, jako např. součinitel tření třísky po čele nástroje, plochy řezu na hřbetě břitu, velikost měrné deformační práce, stupeň zpevnění v odřezávané vrstvě materiálu, velikost mezních kluzných napětí ve střižné rovině a velikost jeho úhlu, apod. [1]

Z hlediska technologie obrábění je obrobitelnost jednou z nejdůležitějších vlastností materiálu a lze ji také definovat jako míru schopnosti daného konkrétního materiálu být zpracováván některou z metod obrábění. Je hlavním činitelem pro volbu rezných podmínek a pro funkci nástroje při všech metodách obrábění.

Volba hospodárných řezných podmínek při obrábění je základním prostředkem k dosažení přijatelných nákladů pro obrábění.

Při volbě řezných podmínek tj. řezné rychlosti, posuvu nástroje a hloubky třísky jsou často omezeny:[2]

- Konstrukce a výkon obráběcí stroje
- Vlastnosti nástroje, jakost nástrojového materiálu, tvar nástroje, geometrie břitu
- Vlastnosti obrobku, tuhost soustavy stroj-nástroj-obrobek, tuhost obrobku
- Vlastnosti materiálu obrobku

Obrobitelnost materiálu závisí:

- Mikrostruktura obrobku
- Chemické složení obráběného dílce
- Přítomnost metalurgických vměstků
- Fyzikální a chemické vlastnosti obrobku
- Metoda obrábění (soustružení, frézování, vrtání, broušení, atd.)
- Pracovní prostředí při obrábění (suché prostředí, mokré prostředí, kapaliny, plyny)
- Geometrie nástroje
- Druh, výrobce, vlastnosti nástrojového materiálu
- Způsob výroby obrobku
- Tepelné zpracování obrobku

Vzhledem k charakteristice obrobitelnosti a řezivosti můžeme obrobitelnost rozdělit na absolutní a relativní. Absolutní obrobitelnost je charakterizována funkčním vztahem a parametry spolu souvisejícími nebo určitou velikostí dané veličiny, která charakterizuje obrobitelnost. Relativní obrobitelnost je charakterizována bezrozměrnými čísly, které udávají poměr velikosti určité veličiny, a sice poměr velikosti této veličiny vztahující se k materiálu obrobku.[1]

Pro daný materiál se obrobiteľnost určuje porovnáním s jiným materiálem, který je obráběn stejným nástrojem za stejných pracovních podmínek.

Jako srovnávací znak můžeme použít:

- Teplota řezání
- Způsob a tvar třísky
- Drsnost povrchu
- Velikost opotřebení břitu nástroje

Zařazení strojírenských materiálů:

Pro určení obrobiteľnosti jsou technické konstrukční materiály zařazeny do devíti skupin, označených písmeny malé abecedy:

- a – litiny
- b – oceli
- c – těžké neželezné kovy (měď a slitiny mědi)
- d – lehké neželezné kovy (hliník a slitiny hliníku)
- e – plastické hmoty
- f – přírodní nerostné hmoty
- g – vrstvené hmoty;
- h – pryže;
- v – tvrzené litiny pro výrobu válců

Pro každou skupinu materiálu je vždy vybrán jeden konkrétní materiál sloužící jako etalon obrobiteľnosti, ke kterému se vztahuje relativní obrobiteľnost všech ostatních materiálu v dané skupině.

Materiály každé skupiny jsou rozděleny do tříd a to podle indexu obrobiteľnosti, daného vztahem 1:

$$i_o = \frac{v_{c15}}{v_{c15 \text{ etalonu}}} [-]$$

Vztah 1 – výpočet indexu obrobiteľnosti

v_{c15} [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] je řezná rychlost nástroje při jeho trvanlivosti $T = 15$ minut pro analyzovaný materiál

$v_{c15\text{etalonu}}$ [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] je řezná rychlost nástroje při jeho trvanlivosti $T = 15$ minut pro etalonový materiál. Třída etalonového materiálu má tedy hodnotu $i_0 = 0$.

Jednotlivé třídy obrobitelnosti jsou označovány číslicemi, umístovanými před písmeno dané skupiny. Materiály ve třídách s nižším číslem mají horší obrobitelnost a materiály s číslem vyšším mají naopak obrobitelnost lepší. [3]

3.1.1 Vliv mikrostruktury na obrobitelnost

Ferit je velmi měkký tvárný a houževnatý. Snadno se deformuje a nepatrně odírá nástroj. V důsledku svých vlastností se při obrábění nalepuje na pracovní plochy nástroje, tímto zvyšuje koeficient tření a rovněž teplotu. Tento jev působí negativně na obrobenou plochu, jelikož zvyšujeme drsnost povrchu R_a . [2]

Perlit je eutektoidní směs feritu a cementitu. Na obrobitelnost působí buď molekulární adhezi feritu nebo abrazivním účinkem cementitu. [2]

Cementit je velmi křehká strukturní část. V perlitu se vyskytuje ve formě lamel uložených rovnoběžně (Lamelární perlit) který nám působí silně abrazivně. Při žhání perlitu vzniká perlit globulární, jenž je příznivější pro obrábění jelikož je měkký a tak má menší abrazivní účinek na nástroj než perlit lamelární. Globulární perlit se často nalepuje na břit nástroje a tím zvyšuje tření a síly vznikající při obrábění.

Austenit je poměrně měkký, značně tvárný a houževnatý. Jeho významnou vlastností je nízká tepelná vodivost při normální teplotě. Při obrábění způsobují síly na břit nástroje adhezi tažného a houževnatého austenitu, což se projevuje nárůstkem na nástroji.

Kromě výše uvedených strukturních součástí obsahuje ocel určité množství karbidů a vměstků. Karbidy působí na nástroj abrazivně a zhoršují jeho obrobitelnost. Při obrábění SK materiálu je největší problém jeho tvrdost, která je velmi vysoká. [2]

3.1.2 Vliv chemických prvků na obrobiteľnosť

Chemické prvky majú pro obrobiteľnosť materiálu kľúčovou rolu. Jejich vlastnosti priamo ovplyvňujú zloženie, mechanické vlastnosti, chemické vlastnosti, mikrostruktúru a tým priamo ovplyvňujú obrobiteľnosť.

Negatívny vliv na obrobiteľnosť:[3]

Uhlík (C) – má vliv na tvrdosť a se zvyšujúcim se obsahem uhlíku se také zvyšuje opotrebenie otěrem. Malý obsah uhlíku $< 0,2\%$ zvyšuje sklon k adhezívnému opotrebeniu, jenž má za následok tvorbu nárastku a v niektorých prípadoch problémy s delím třísky.

Chrom (Cr), Molybden (Mo), Wolfram (W), Vanad (V), Titan (Ti), Niob (Nb)

– jsou charakterizovány jako karbidotvorné prvky jenž zvyšujú opotrebenie otěrem

Kyslík (O) – má značný vliv na obrobiteľnosť, jelikož ve strukture tvoří nekovové oxidické vměstky, jenž zvyšujú abrazi.

Hliník (Al), Titan (Ti), Vanad (V), Niob (Nb) – jsou prvky, které se přidávají do ocelí zejména pro jejich očkující vlastnosti, které například zjemní zrno, zvýší houževnatost anebo zvýší obrobiteľnosť.

Fosfor (P), Uhlík (C), Dusík (N) – výskyt těchto přísad ve feritu vede ke snížení houževnatosti, což způsobí zvýšené opotrebenie otěrem.

Pozitívny vliv na obrobiteľnosť:[3]

Fosfor (P) přidáním vytváří krátké a křehké třísky. Při obsahu $0,1\%$ má fosfor pozitivní vliv na obrobiteľnosť. S rostoucím obsahem fosforu se zvyšuje opotrebenie nástroje navzdory lepším kvalitám povrchu obrobku.

Olovo (Pb) – v automatových ocelí díky své nízké teplotě tavení omezuje tření mezi třískou a břitovou destičkou, snižuje opotrebenie a zlepšuje dělení třísek.

Síra (S) - je přísadou zlepšující obrobiteľnosť materiálu. Ačkoliv má velmi malou rozpustnosť v železe, tvoří v závislosti na obsahu prvků v oceli stabilní sulfidy, např.

sulfid manganu MnS. Tyto sulfidy jsou žádoucí, jelikož vykazují menší tvrdost než okolní materiál. V průběhu obrábění dochází k deformaci těchto sulfidů a následně k lepšímu oddělování třísky (krátká, lámavá).

3.2 Rozdělení obráběného materiálu dle ISO 513

Obráběné materiály se dělí podle normy DIN ISO 513 do šesti základních skupin.

Tab. 1 – Rozdělení obráběného materiálu dle ISO 513[4]

Barva/Identifikační písmeno	Skupina materiálu
P	Uhlíkové, legované, feritické a nástrojové oceli, ocelolitina, nízko a středně legované ocelolity atd....
M	Korozivzdorné oceli (austenitické a feriticko austenitické), žáruvzdorné, žárupevné oceli) atd....
K	Šedá litina nelegovaná, legovaná, tvárná litina, temperovaná litina atd....
N	Neželezné kovy, nekovy (hliníkové, hořčíkové slitiny, měď, bronz, mosaz, keramika) atd....
S	Super slitiny, titanové slitiny (žárupevné slitiny na bázi kobaltu a niklu) atd....
H	Tvrdé materiály, kalené oceli 48-65HRC, zušlechťené oceli, pružinové oceli, tvrzené litiny, slinuté karbidy atd....

Diplomová práce se zabývá problematikou obrábění slinutých karbidů, která je zařazena do skupiny DIN ISO 513 – H.

• ISO H

Do této skupiny materiálů patří kalené a popuštěné oceli s tvrdostí $>45 - 68$ HRC. Mezi nejběžnější oceli patří cementované oceli (~ 60 HRC), oceli pro kuličková ložiska (~ 60 HRC) a nástrojové oceli (~ 68 HRC). Mezi tvrdé typy litin patří bílá litina (~ 50 HRC) a ADI/Kymenite (~ 40 HRC). Konstrukční oceli ($40 - 45$ HRC), manganové oceli a různé typy tvrdokovových návarů, např. stellite, slinuté karbidy rovněž náleží do této skupiny.[4]

Soustružené tvrzené součásti mají nejčastěji tvrdost v rozmezí $55 - 68$ HRC.[4] Na obrobitelnost materiálu má dále vliv tepelné zpracování daného materiálu jako je žíhání, kalení a způsob výroby. Kvůli výše uvedeným vlastnostem těžkoobrobitelných materiálů kladou tyto materiály zvýšené nároky na obráběcí stroj, a zvláště pak na nástroj a řezný nástroj a jeho materiál. Je potřeba vybrat správné technologické podmínky podle typu obráběného materiálu.

U materiálu jenž se řadí do skupiny DIN ISO 513 – H jsou zvýšené mechanické vlastnosti obrobku dány buď tepelným zpracováním anebo jeho chemickým složením.

Materiály tavitelné za vysokých teplot:[5]

- Vysoká žáruvzdornost
- Bod tavení okolo 2200°C
- Tvrdost a tepelná vodivost kolísá v určitých místech vznik vysoké teploty
- Legovány především Nb, Ta, Mo, W
- Materiály, jenž jsou legovány Nb a Ta jsou tvárné což způsobuje vzniky nárůstků
- Materiály legované Mo a W jsou křehké a neohebné, nízký součinitel tepelné roztažnosti což způsobuje problém při obrábění

Charakteristika řezných nástrojů pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů:[5]

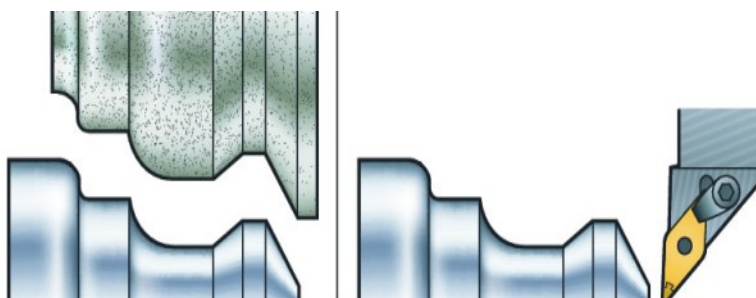
U řezných nástrojů je především požadována:

- Zvýšená odolnost vůči opotřebení
- Vysoká pevnost a houževnatost
- Vysoká tvrdost za tepla
- Vysoká odolnost vůči teplotním šokům
- Zvýšená chemická stabilita za vysokých teplot
- Specifické požadavky na řeznou geometrii

Specifické jsou jak požadavky na nástroj tak i na jeho geometrii, která musí za daných řezných podmínek splnit dostatečnou pevnost, klidný průběh bez chvění a vibrací, maximální trvanlivost. Při volbě řezné geometrie nástroje je důležitým aspektem volby plnění drsnosti R_a obrobku a také přesnost obráběné plochy.[5]

Požadavky na stroje pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů:

Stávající situace na trhu vyžaduje těžkoobrobitelné materiály nejen brousit ale využívat metod soustružení. Jelikož je soustružení více flexibilní rychle se díky vývoji řezných materiálů postavit na úroveň broušení. Rozhodující je mezi metodami přesnost, kde je broušení stále o krok před soustružením.



Obr. 1 - Soustružnické nástroje lze naprogramovat tak, aby bylo možné obrobit tvary, jejichž broušení by jinak vyžadovalo časově náročné přestřování brusných kotoučů.[6]

3.3 Technologie obrábění těžkoobrobitelných materiálů

Při obrábění tvrdých těžko obrobitelných materiálů je k dosažení přesnosti a drsnosti zapotřebí často broušení. Moderní trendy v oblasti obrábění nám však dovolují použít nástroje s definovanou geometrií řezného klínu a tak tyto nástroje postupně nahrazují operaci broušení soustružením. Pro správnou funkci řezného klínu musí být však zabezpečeny podmínky, které eliminují poškození řezné hrany. Při obrábění tvrdých materiálů je pak jedním z nejdůležitějších požadavků odvod tepla z místa plastické deformace a dále dostatečné zajištění tuhosti soustavy stroj-nástroj-obrobek. Pokud zajistíme výše uvedené požadavky, dosáhneme jak vysoké přesnosti, tak nízké drsnosti.

Tvrdé materiály byly v minulosti velmi těžko obrobitelné. Prakticky jako jediné metody byly využívány broušení, nebo elektrojiskrové obrábění. Zejména materiály jako tvrdokovy, kalené oceli byly obráběny pouze broušením. Vývoj materiálu v oblasti obrábění způsobil, že tyto materiály mohou být obráběny nástrojem s definovanou geometrií. Materiály nástrojů jako např. kubický nitrid boru, řezná keramika posunuli obrábění tvrdých materiálů směrem k/ke předu.

Při obrábění tvrdých materiálů je požadavek aby řezné materiály měli:

- Odolnost proti difuzi
- Houževnatost
- Pevnost hran
- Pevnost v ohybu a tlaku

3.3.1 Obrábění bez procesní kapaliny (DM)

Trend obrábění označovaný v západoevropských státech zkratkou DM znamená soustružení, frézování a v určitém rozsahu i vrtání bez používání jakékoliv řezné kapaliny. Tento přístup umožňuje dosahovat velkých úspor nákladů a má také výhody z hlediska ochrany životního prostředí.[7]

Je ovšem samozřejmé, že ne-každé obrábění lze uskutečnit bez používání řezné kapaliny. Odhaduje se však, že nepoužíváním řezné kapaliny mohou klesnout náklady vynaložené na obrábění přibližně o 10 až 12 %.

Průmysl si pomalu začíná uvědomovat výhody metody DM, která se zatím využívá při obrábění přibližně 12 % hromadně vyráběných dílů. V USA je rozvoj v tomto směru poněkud pomalejší, ale i tam je o metodu DM velký zájem.[7]

Výhody suchého soustružení:

Využití metody DM umožňuje dosahovat úspor zejména výrobních nákladů. V první řadě nejsou zapotřebí náklady na nákup řezných kapalin a na jejich likvidaci po využití. Dále nejsou nutné investice do zařízení pro manipulaci, čištění a skladování řezných kapalin.[7]

Manipulace, skladování, čištění a likvidace řezných kapalin je náročný a složitý proces s velkými riziky, zejména úniku. Přechodem na metodu DM lze získat čistější a zdravější prospěšnější výrobní proces. Nedochází k rozprašování řezné kapaliny, takže se zlepšuje pracovní i životní prostředí a také bezpečnost práce. Není nutnost čištění obrobků před následujícími operacemi, čímž se zmenší riziko vzniku alergických reakcí u pracovníků obsluhujících obráběcí stroje.[7]

Obecně platí, že používání řezné kapaliny zejména na velmi výkonných CNC obráběcích strojích není bez problémů. Kromě úspory výrobních nákladů, ochrany životního prostředí a zdraví má metoda DM další výhodu, a tou je větší produktivita obrábění. Pokud se řezná kapalina přestane používat, je teplota při obrábění větší, ale také stálější. To ve finále znamená lepší trvanlivost břitů nástrojů, lepší utváření třísky a větší výkon obrábění.[7]

Řezné materiály:

V současné době například švédská firma AB Sandvik Coromant nabízí již řadu břitových destiček ze slinutých karbidů, určených speciálně k používání při obrábění metodou DM. Příkladem jsou destičky s označením Ultraspeed se zvětšenou tloušťkou vrstvy povlaku z oxidu hlinitého Al_2O_3 a další vývoj v této oblasti velmi rychle pokračuje. Vznikají nové řezné materiály vhodné pro obrábění metodou DM. Jsou to například cermety, řezná keramika, kubický nitrid boru a umělé polykrystalické diamanty.[7]

3.3.2 Obrábění s použitím procesní kapaliny (WM)

Metoda obrábění bez řezné kapaliny nemůže být aplikovaná na všechny druhy materiálu, proto se při obrábění využívá přívodu řezné kapaliny.

Řezná kapalina musí splňovat a zaručit určité vlastnosti

- Chladicí účinek
- Mazací účinek
- Čistící účinek
- Provozní stálost
- Zdravotní nezávadnost
- Provozní náklady

Chladicí účinek je schopnost odvádět z místa řezu teplo, které při obrábění a tvorbě třísky vzniká v místě styku nástroje a obrobku. Při odvodu tepla z místa vzniku kapalina obklopuje jak nástroj, tak i třísky, obrobek a přejímá část vzniklého tepla. Jako největší výhody se tak jeví snížení teploty řezání, dále pomocí chlazení zvyšujeme životnost nástroje a zvyšujeme jakost obrobené plochy. Chladicí účinek je dán zejména smáčecí schopností, a rychlostí vypařování za určitých teplot.[5]

Mazací účinek je umožněn tím, že médium vytváří na povrchu obrobku a nástroje vrstvu, která brání přímému styku kovových povrchů a tím snižuje tření, ke kterému dochází mezi nástrojem a obrobkem. Mazací účinek znamená zmenšení řezných sil, zmenšení spotřeby energie a také zlepšení jakosti obrobeného povrchu. Mazací účinek řezného média se uplatní zejména u dokončovacích obráběcích operací, ale také při protahování, výrobě závitů nebo výrobě ozubení. Mazací schopnost řezného média je závislá na viskozitě a na pevnosti vytvořené mezní vrstvy. Viskóznější médium ve větším množství ulpívá na třískách, čímž dochází k jeho ztrátám.[8]

Čistící účinek řezného média spočívá zejména v odstraňování třísek z místa řezu. Čistící účinek je významný zejména při broušení (zlepšení řezivosti brousicího kotouče v důsledku vyplavování zanesených pórů, zabránění slepování částic třísky a usnadnění jejich usazování), řezání závitů nebo vrtání hlubokých děr.[8]

Provozní stálost je doba spolehlivé funkčnosti kapaliny až do doby její výměny. Stárnutí se často projevuje vznikem usazenin, které často způsobí buď poruchu mazacího systému, nebo celého stroje.

Ochranný účinek zajišťuje ochranu jak obráběcího stroje, tak obrobku. Aby fungoval správně, nesmí být agresivní vůči nátěrům ani gumovým těsněním. Jako hlavní výhoda ochranného účinku kapaliny je, že nezpůsobuje korozi, mezi jednotlivými operacemi obrábění není zapotřebí obrobek konzervovat. Pro navýšení antikorozního účinku jsou do kapalin přidávány pasivační přísady.

Zdravotní nezávadnost řezného média vychází z toho, že při práci na obráběcích strojích s ním obsluhující pracovník přichází do přímého styku. Proto médium nesmí být zdraví škodlivé, nesmí obsahovat látky dráždící sliznici a pokožku, nesmí být jedovaté a nesmí zamořovat ovzduší nepříjemným zápachem.[8]

Provozní náklady vynaložené na provozní média jsou často velmi vysoké. Jako hlavní příčinu vysokých nákladů můžeme uvést častou výměnu, spotřebu a také náklady na likvidaci. Před výběrem média je tedy nutné, aby bylo médium technickoekonomicky zhodnoceno.

Druhy procesních kapalin:

- Vodní roztoky
- Emulzní kapaliny
- Mastné oleje
- Zušlechtěné řezné oleje
- Rostlinné oleje
- Syntetické kapaliny

Vodní roztoky mají vysoký chladicí účinek, jsou nenákladné, avšak nemají žádný mazací účinek.

Syntetické kapaliny jsou nejvýhodnějším typem pro aplikaci. Mají velkou provozní stálost, mají dobré chladicí, mazací i čistící účinky, rychlý odvod tepla a jsou ekonomicky dostupné.

Prívod procesní kapaliny k místu řezu:

- Standartní chlazení
- Tlakové chlazení
- Chlazení mlhou
- Vnitřní chlazení
- Plynné prostředí

Standartní chlazení je realizováno pomocí cirkulačního oběhu a do místa řezu je přepravena pomocí okruhu dodaném ke stroji.

Tlakové chlazení funguje tak, že kapalina je pod tlakem přiváděna na břit nástroje ze spodu přímo do místa řezu.

Mlhové chlazení vzniká při rozptýlení částeczek kapaliny ve vzduchu, mlhové chlazení má vysokou schopnost přejímat teplo.

Vnitřní chlazení výrazně zvyšuje výkon obrábění, je vhodné pro vyměnitelné břitové destičky ze slinutého karbidu. Principem je přivedení kapaliny centrálními otvory v tělese nástroje až do místa řezu. Použití tohoto druhu chlazení vede ke zvýšení výkonu obrábění.[8]

Plynné prostředí se nepoužívají z důvodu nízkého chladicího účinku, výjimku ovšem tvoří použití stlačeného CO₂, který je do místa řezu přiváděn pomocí trysky, ze které plyn letí tenkým paprskem až do místa řezu. Tlak paprsku je přibližně 0,5 – 7 MPa. Tato metoda se nejčastěji používá u chlazení řezné keramiky.[8]



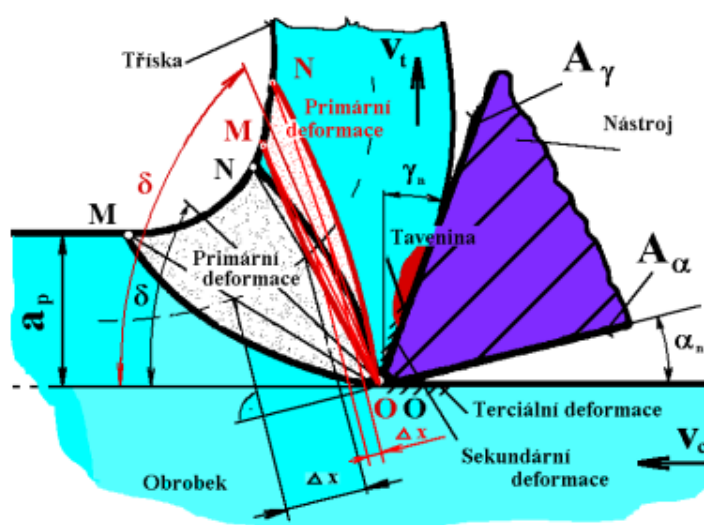
Obr. 2 Ukázka tlakového chlazení [9]

3.3.3 HSC obrábění

S rostoucími požadavky a tlakem na přesnost a kvalitu výroby se stále častěji využívá metody HSC (High Speed Cutting), přeloženo vysokorychlostního obrábění. Se zvyšováním odolností, pevností a kvality výrobků je tak nutnost kvalitativně rozvíjet obráběcí stroje i nástroje.

Metoda HSC

Při obrábění metodou HSC dochází k nárůstu řezné rychlosti, která dosahuje 5-10x vyšších hodnot než u konvenčního obrábění. Rozdíly mezi rychlostním a konvenčním obráběním se projevují v mechanismu tvorby třísky. Oddělování třísky je velmi složitým procesem, jehož průběh závisí na mnoha činitelích, zejména na fyzikálních vlastnostech obráběného materiálu a jejich závislosti na podmínkách plastické deformace. Obecně platí, že při zvyšující se řezné rychlosti se oblast plastické deformace v zóně tvorby třísky zužuje a ke vzniku třísky dochází plastickým skluzem v jediné rovině, tzv. rovině stříhu.



Obr. 3 Tvorba třísky při HSC obrábění [11]

Hned po fyzikálních vlastnostech obráběného materiálu má největší vliv řezná rychlost v_c , a to na deformační rychlost a množství vyvinutého tepla a tím i na teplotu povrchových vrstev třísky.[10]

V podmínkách HSC obrábění zvýšení řezné rychlosti způsobí zvýšení množství práce potřebné k řezání materiálu a tím i vzniklého tepla. Vyšší část vzniklého tepla se odvádí třískou, jejichž teplota se blíží tavicí teplotě obráběného materiálu. Při určité řezné rychlosti dojde ke změně chemických a fyzikálních vlastností třísky, která vlivem vysoké teploty podstatně změkne a tím se výrazně zmenší koeficient tření.

Požadavky na stroj pro HSC obrábění:[5]

- Otáčky frézovacích vřeten 20000-80000 min⁻¹
- Otáčky vřeten soustruhu 5000-15000 min⁻¹
- Výkony vřetene 15 až 60 kW
- Rychloposuv 90-120 m.min⁻¹
- Maximální rychlosti pracovních posuvů 15-40 m.min⁻¹

Hlavní přínos aplikace HSC metody:[5]

- Změknutí třísky
- Zvýšení produktivity obrábění
- Zvýšení kvality povrchu
- Zvýšení životnosti nástroje
- Snížení teploty obrobku

Požadavky na obráběcí stroje:[5]

- Vysoká tuhost lehkost, dobré tlumení mechanických vibrací
- Vysoká tuhost soustavy S-N-O
- Odolnost rámu stroje vůči teplotám (deformace vlivem délkových dilatací)
- Zakrytování stroje
- Vysokovýkonné řídicí systémy
- Vysoce výkonné rychloposuvy, rychlosti, pracovní posuvy

Požadavky kladené na řezný nástroj:[5]

- Tvrdost za vysoké teploty, převaha tvrdost nástroje nad tvrdostí obrobku
- Povlaky proti opotřebení čela a také proti přestupu tepla do čela nástroje
- Přesné upínání a vyvažování nástrojů

Výhody HSC:[11]

- Snížení výrobních nákladů
- Dosažení vysoké kvality povrchu
- Zvýšení objemu odebraného materiálu
- Zmenšení deformací tenkostěnných obrobků
- Výrazné snížení tepelného zatížení obrobku
- Aplikování obrábění bez provozních kapalin (úspora nákladů)

Nevýhody HSC:[5]

- Nákladné vybavení
- Drahé nástroje
- Vyvažování rotačních nástrojů
- Přesné upínání
- Odborná znalost technologů
- Nároky na CAM a řídicí systém
- Náročnější plánování a příprava výroby
- Vyšší nároky na obsluhu



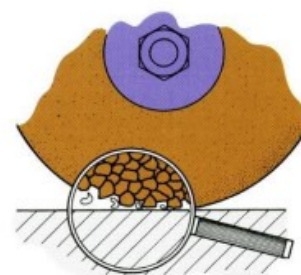
Obr. 4 HSC soustružení

3.3.4 Broušení

V současné době jsou nároky na výrobky s vysokou jakostí povrchu čím dál častější a větší, a to z důvodu vyšších požadavků na jejich životnost, ale hlavně z důvodu vyšší odolnosti proti opotřebení. Broušení je hlavní dokončovací metoda, která umožňuje získat požadovanou kvalitu a přesnost obrobenej plochy. Je to metoda obrábění mnohobřitým nástrojem s geometricky nedefinovatelnými řeznými hranami (zrna brusiva), které jsou spojeny pojivem. [13]

Broušení se také používá při obrábění tvrdých materiálů, jako jsou slinuté karbidy, stelite, nebo například kalené obrobky. V předkládané diplomové práci bude broušení věnována velká část praktické práce, jelikož válečky, jenž jsou zhotoveny ze slinutého karbidu, musí být pro požadovanou drsnost a přesnost finálně broušeny tvarovým kotoučem.

- Při broušení dochází k odebírání nepravidelné třísky, jelikož geometrie zrn a její nepravidelné rozložení je různé
- Zrna jsou schopny přenášet jen malé řezné síly
- Z důvodu vzniku velkého tepla, které je způsobeno velkými otáčkami, tvrdostí obráběného materiálu je nutno při broušení používat chlazení. Teplo které při broušení vzniká, by mohlo oduhličit povrch obrobku.



Obr. 6 Nepravidelný úběr třísky[13]

- Otupování ostří jednotlivých zrn brusiva a zanášení pórů třískami způsobuje ztrátu řezivosti, ta se obnovuje pomocí orovnávačů.

Tvarové broušení

Ve strojírenství se kromě rovinných, válcových a kuželových ploch často vyskytují i tvarové plochy. Tyto tvary se brousí tvarovými kotouči nebo kotouči běžných tvarů kopírováním. Dále je možno toto broušení provádět na CNC strojích, které jsou naprogramovány tak, že tvar kotouče vytváří požadovaný tvar v obrobku a reguluje se pouze úběr, otáčky, přísuv. [13]

Brousící nástroje:

Brousící nástroj se skládá z brusných zrn, pojiva a pórů. Brusná zrna tvoří řezné klíny, póry mají funkci zubových mezer, ve kterých se hromadí třísky a pojivo spojuje brusná zrna dohromady, čímž tvoří pevné těleso různých tvarů a velikostí.

Brusné nástroje posuzujeme dle:

- Druhu brusného materiálu
- Zrnitosti
- Tvrdosti
- Struktury
- Pojiva

Druh brusného materiálu

Brousící kotouče obsahují většinou jako brusivo karbidy křemíku (zelené a černé) nebo oxidy hliníku (bílé a růžové korundy) tavené v elektrické peci. Jejich přehled vidíte v tabulce, ze které můžete také zjistit, že s rostoucí tvrdostí klesá houževnatost brusiva.[14]

Označení	Druh brusiva	HK* N/mm ²	mezí teplota	Oblasti použití
A	korund směsný (Al ₂ O ₃) korund legovaný	16 350 až 20 800	2 000 °C	středně houževnaté až tvrdé materiály do 60 HRC ($R_m < 500 \text{ N/mm}^2$) jako nekalená ocel a temperovaná litina
	čistý korund (Al ₂ O ₃)	21 000		houževnaté tvrdé oceli nad 60 HRC, jako nástrojová ocel; broušení a leštění skla
C	karbid křemíku (SiC)	24 800	1 370 °C	rovinné broušení SK, litiny, keramiky a neželezných kovů; rovnání brusných kotoučů, broušení z volné ruky
B	nitrid boru (BN)	47 000	1 200 °C	přesné broušení houževnatých tvrdých ocelí jako HSS ocelí a tepelně zušlechťených ocelí
D	diamant (C)	70 000	800 °C	přesné broušení houževnatých tvrdých a křehkých materiálů, jako SK, litiny, skla, keramiky a slitin niklu

* HK zkouška tvrdosti podle Knoop se provádí vtlačováním diamantového jehlanu s vrcholovými úhly 172,5° a 130°.

Obr. 7 Druhy brusiv [15]

Zrnitost brusiva

Jakost nástroje je závislá na velikosti brusných zrn, které poté mají velký vliv na drsnost a celkovou jakost povrchu.

Volba zrn závisí na druhu obráběného materiálu, všeobecně platí:

- Tvrdý, křehký materiál vyžaduje použití jemnějšího zrna než pro obrábění měkkého a houževnatého materiálu
- Čím vyšší jakost povrchu, tím jemnější zrna
- Na větší úběry musí být voleno větší zrna

Tvrdost kotouče

Je odpor brusných zrn proti vylomení z nástroje, takže můžeme konstatovat, že se vlastně jedná o míru houževnatosti, pružnosti pojivových můstků mezi jednotlivými zrny brusiva. U měkkých kotoučů se zrna uvolňují snadněji než u tvrdých kotoučů.[13]

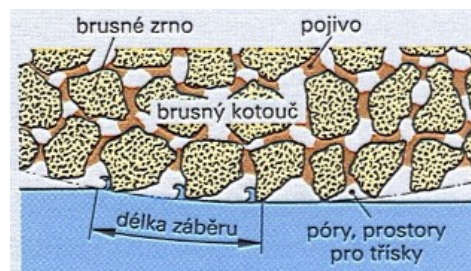
Měkký kotouč	PODMÍNKY	Tvrdý kotouč
Tvrdý, křehký	Obráběný materiál	Měkký, houževnatý
Velká	Kontaktní plocha	Malá
Vysoká	Řezná rychlost	Nízká
Nízká	Posuvová rychlost (v_{ft} , v_w)	Vysoká
Dobrá	Přesnost brusky	Špatná
Zkušený	Pracovník	Nezkušený

Obr. 8 Podmínky volby brusného kotouče [13]

Struktura kotouče

Struktura určuje poměr brusných zrn, pojiva a pórů v 1cm^3 . Čím vyšší je číslo, tím je vzdálenost mezi zrny větší. Čím méně pórů se nachází v brusném kotouči, tím je hutnější. Hutné kotouče se brousí jemněji. Pórovité kotouče mají mezi zrny větší prostor mezi zrny, což může způsobit nevyváženost vlivem nasávání kapaliny.[16]

- Čím tvrdší a křehčí materiál, tím je hutnější kotouč[13]
- Čím větší dotyková plocha, tím musí být kotouč pórovitější
- Při velkém odběru materiálu, musí být kotouč pórovitější, aby se nezanášel



Obr. 9 Složení br. Kotouče[17]

Pojivo kotouče

Úlohou pojiva je držet pohromadě brousicí nástroj a zrna na jeho povrchu udržet tak aby nástroj měl požadovaný tvar a vhodnou mechanickou pevnost, dokud se neotupí. Následně musí pojivo povolit, aby se otupené zrno vylomilo. Pojivo musí být odolné vůči teplotám, a také odolné vůči chladicím kapalinám.

Označení	Druh pojiva	Oblasti použití
V	keramické pojivo	hrubování i hlazení oceli korundem a karborundem
B BF	pojivo z umělé pryskyřice zesílené vláknem	hrubování a rozbrušování, vysokotlaké broušení se zirkoniovým korundem, profilové broušení s diamanty a nitridem boru
M	kovové pojivo	profilové broušení a broušení nástrojů diamantem nebo nitridem boru (mokré broušení)
G	galvanické spojení (v galvanické lázni)	vnitřní broušení SK a HSS, ruční broušení
R RF	pryžové pojivo pryž zesílená vláknem	rozbrušování podávací kotouč brusky

Obr. 10 Druhy pojiv brusných kotoučů [13]

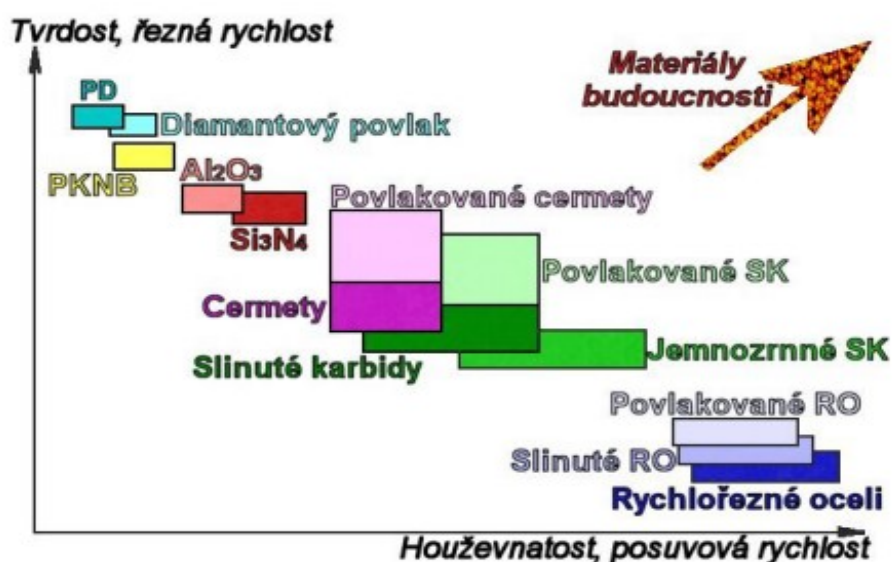
3.4 Řezné materiály pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů

Materiál břitu a řezných nástrojů výrazně ovlivňuje produktivitu, výrobní náklady a kvalitu výrobního procesu. Nároky jsou zejména na tepelné a otěruvzdorné vlastnosti, v kterých břit pracuje. Při obrábění často funkční plocha břitu pracuje při vysokých a nestálých teplotách, a dále bývají zatíženy mechanicky. Tyto aspekty poté vedou k otupení břitu a následné destrukci. Řezný materiál musí mít vždy vyšší tvrdost než materiál obrobku, při zajištění této podmínky dojde k průniku řezného klínu do obráběného materiálu a začne proces oddělování třísky.[18]

Nástrojové materiály se vyznačují různou kombinací mechanických vlastností (tvrdost, houževnatost, odolností vůči opotřebení a lze je rozdělit do mnoha tříd, které mají specifické vlastnosti.

Obecně musí platit, že vhodný materiál nástroje pro obrábění musí splňovat:

- Tvrdost, odolnost bříty proti plastické deformaci
- Odolnost vůči otěru (adheze, difuze, nárůstky)
- Vysoká řezivost
- Houževnatost, odolnost vůči lomu
- Nesmí reagovat s materiálem obrobku
- Chemická stabilita, odolnost vůči oxidaci a difuzi
- Odolnost vůči změnám teplot



Obr. 11 Vliv mechanických vlastností nástrojového materiálu na pracovní podmínky[19]

Dle Obr. 11 usuzujeme, že pro obrábění tvrdých materiálů jako je slinutý karbid bude vhodné použít diamant, kubický nitrid boru, keramiku vyztuženou whiskery.

3.4.1 Keramika

Díky intenzivní výzkumné činnosti byly vlastnosti řezné keramiky vylepšeny tak, že mohla být aplikována ve strojírenské výrobě.

Základní vlastnosti řezné keramiky:[18]

- Vysoká tvrdost
- Odolnost vůči mechanickému namáhání
- Odolnost vůči vysokým teplotám
- Vysoká trvanlivost
- Vysoká řezivost
- Odolnost vůči chemickým vlivům
- Příznivá cena

Řezná keramika se dělí na:

Oxidová

- Na bázi oxidu hlinitého (Al_2O_3)
- Čistá (99 % Al_2O_3) CA
- Směsná keramika ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$)
- Keramika vyztužená whiskery jsou velmi perspektivními materiály pro řezné nástroje tzv. vyztužené (zpevněné, kompozitní) keramiky

Nitridová

- Keramika Si_3N_4 ,

Řezná keramika na bázi Al_2O_3 je užívána pro obrábění vysokou řeznou rychlostí a nízkou posuvovou rychlostí, protože má vysokou tvrdost za tepla a vysokou termochemickou stabilitu, ale nízkou houževnatost. [19]

Řezná keramika na bázi Si_3N_4 má vyšší houževnatost a vydrží vyšší posuvovou rychlost než keramika Al_2O_3 , ale její užití je omezeno na obrábění šedé litiny.[19]

3.4.2 Cermety

Cermet vznikl z prvních tří hlásek slov CERamics a METal. Má tak vyjadřovat kombinaci kovu a keramiky. Tato kombinace umožňuje využít vlastnosti typické pro kov (houževnatost) a keramiky (tvrdost). Jsou velmi rozšířené při dokončovacím obrábění, jelikož tvrdá fáze cermetů vytváří při obrábění plochu s velmi nízkou drsností.[18]

Cermet je slinutý karbid tvořený tvrdými částicemi na bázi titanu. Původně se cermety skládaly z TiC a niklu. Moderní cermety nikl neobsahují a jejich důmyslné složení je tvořeno, jakožto základním stavebním prvkem, částicemi karbonitridů titanu Ti (C nebo N), částicemi sekundárních tvrdých fází (Ti, Nb, W) a pojivem bohatým na kobalt. Ti(C,N) poskytuje příslušné třídě vyšší odolnost proti otěru, sekundární tvrdé fáze zvyšují odolnost proti plastické deformaci, podíl kobaltu má rozhodující vliv na houževnatost.[21]

Ve srovnání s běžnými slinutými karbidy má cermet vyšší odolnost vůči otěru a menší tendence k ulpívání materiálu obrobku na břit. Na druhou stranu, cermet má také nižší úroveň vnitřních tlakových pnutí a z toho důvodu i nižší odolnost proti vzniku tepelných trhlin.

Za účelem zvýšení jejich odolnosti proti otěru, je cermet rovněž možné povlakovat metodou PVD.[21] Tloušťka povlaku se u břitových destiček pohybuje od 2 do 5 μm. Nové nástroje jsou často opatřeny vícenásobnými vrstvami povlaku. PVD je pro povlakování cermetů nejvhodnější, jelikož CVD povlak způsobuje v cermetovém substrátu vznik vlasových trhlinek, které mohou být příčinou lomů. [18]

Zásady pro použití cermetů:[18]

- Při soustružení na čisto udržovat konstantní šířku záběru ostří
- Zápichy zhotovovat na několik řezů
- Soustružit jen při nepřerušovaných řezech
- Frézovat bez použití řezné kapaliny
- Frézovat sousledným způsobem

3.4.3 Kubický nitrid bóru (CBN)

Polykrystalický nitrid boru je materiál s vysokou tvrdostí. Přírodní KNB není pro nástroje vhodný, jelikož je měkký. Svou tvrdost získá teprve transformací na kubickou mřížku za vysokých teplot a tlaků. Touto transformací získává druhou příčku ve tvrdosti materiálu pro obrábění hned za diamantem.[18]

Polykrystalický kubický nitrid bóru, CBN, je materiál s mimořádně vysokou tvrdostí za tepla, který lze používat při velmi vysokých řezných rychlostech. Vyznačuje se také velmi dobrou houževnatostí a odolností proti tepelným rázům. Moderní CBN třídy jsou keramické kompozity s obsahem CBN 40-65%. Keramické pojivo zvyšuje odolnost CBN, který je jinak náchylný k opotřebení chemickým otěrem, proti opotřebení. Další skupinou jsou třídy s vysokým obsahem CBN, s 85% až s téměř 100% CBN. Tyto třídy mohou obsahovat kovové pojivo zvyšující jejich houževnatost.[22]

CBN třídy se používají zejména pro dokončovací soustružení tvrzených ocelí o tvrdosti nad 45 HRC. Nad hodnotou 55 HRC je CBN jediným nástrojovým materiálem, který může nahradit tradičně používané metody broušení. Měkčí oceli, pod 45 HRC, obsahují vyšší množství feritu, který má negativní vliv na odolnost CBN proti otěru.[22]

3.4.4 Diamant

Díky své vysoké vazebné energii kubické mřížky je nejtvrdším známým materiálem. Diamanty dělíme na: [18]

- Přírodní
- Syntetické

Synteticky vyrobené diamanty jsou cenově příznivější tak technologicky vhodnější pro užití.[18] Použití nástrojů z PCD je omezeno na neželezné materiály, jako například slitiny hliníku s vysokým obsahem křemíku, kompozity s kovovou maticí a plasty vyztužené uhlíkovými vlákny. S dostatečně bohatým přívodem řezné kapaliny lze použít PCD také pro velmi jemné dokončovací operace (superfinišování) v titanu.[22]

3.5 Slinuté karbidy – materiál obrobku

Tato kapitola je v diplomové práci z důvodu materiálu obrobku WCCoNiCr.

Poslední výzkum ukázal, že slinutý karbid se dá perfektně využít i v oblasti válcování. Jelikož se tato diplomová práce zabývá obráběním válce ze slinutého karbidu v teoretické části jsou popsány základy výroby a vlastnosti slinutých karbidů.

Slinuté karbidy jsou vyráběny metodou práškové metalurgie, kdy je struktura tvořena karbidy vysokotavitelných kovů, jako jsou wolfram, titan, niob, tantal, chrom a jako pojivo je použito nejčastěji kobaltu. Podstatou procesu výroby slinutých karbidů je lisování směsi prášku tvrdých karbidických částic s práškem pojícího kovu, nejčastěji kobaltu a následné slinování při teplotě blízké bodu tavení pojiva. Tím vzniká kompaktní materiál, jehož tvrdost se blíží tvrdosti výchozích karbidů a který vyniká poměrně vysokou pevností (zejména v tlaku, současné produkty předních výrobců i pevností v ohybu), protože jeho struktura je tvořena pevnou kostrou pojícího kovu, která obklopuje zrna relativně křehkých karbidů. [19]

Slinuté karbidy zabezpečují při válcování vyšší produktivitu a vyšší jakost než materiály z nástrojové oceli.

Systém WC-Co

Vlastnosti WC-Co velmi závisí na jeho konečném složení a struktuře. Malé odchylky od ideálního obsahu uhlíku způsobují tvorbu grafitu nebo ternární sloučeniny. Obě tyto fáze jsou obvykle nežádoucí a způsobují degradaci mechanických vlastností a řezného výkonu. Aby byly vyrobeny požadované sloučeniny s optimálními vlastnostmi, musí být obsah uhlíku udržován v úzkých mezích.[19]

Vlastnosti slinutých karbidů WC-Co závisí mj. i na velikosti zrna tvrdé fáze, kterou lze ovlivnit např. použitím výchozích prášků s velmi jemnou zrnitostí. Takto vyrobené „nanostrukturní“ slinuté karbidy kombinují vysokou tvrdost a vysokou houževnatost.[19]

Tvrdost slinutých karbidů typu WC-Co závisí zejména na obsahu kobaltu a velikosti zrna karbidické fáze (nejvyšší tvrdost mají materiály s jemnozrnnou strukturou a nízkým obsahem Co. Ve srovnání s rychlořeznými oceli mají tyto slinuté karbidy mnohem vyšší tvrdost.[19]

Složení [hm. %]		Měrná hmotnost [g cm ⁻³]	Tvrdost		Pevnost v ohybu [MPa]	Pevnost v tlaku [MPa] ⁴⁾	Modul pružnosti v tahu [GPa] ¹⁾	Měrná tepelná vodivost [W m ⁻¹ K ⁻¹]	Součinitel délkové roztaž- nosti [10 ⁻⁶ K ⁻¹]	Měrný odpor [μΩ cm]
WC	Co		[HRA]	[HV]						
100	-	15,7	92÷94	1800÷2000	300÷500	3000	722	122	5,7 ÷ 7,2	53
97	3	15,1÷15,2	90÷93	1600÷1700	1000÷1200	5900	670	88		
95,5	4,5	15,0÷15,1	90÷92	1550÷1650	1200÷1400	5800	640	84	3,4(0÷300°C) 4,1(300÷600°C)	
94÷94,5 ¹⁾	5,5÷6	14,8÷15,0	90÷91	1500÷1600	1600÷1800	5000	620	80	3,6(0÷300°C) 4,6(300÷500°C)	20
94÷94,5 ²⁾	5,5÷6	14,8÷15,0	91÷92	1600÷1700	1400÷1600	5500	630 ²⁾	80	5	21
91	9	14,5÷14,7	89÷91	1400÷1500	1500÷1900	4800	590	75		
90	10	14,3÷14,5	88,5÷90,5	1350÷1450	1550÷1950	4700	585	71		
89	11	14,0÷14,3	88÷90	1300÷1400	1600÷2000	4600	580	67	3,8(0÷300°C) 4,8(300÷600°C)	18
87	13	14,0÷14,2	87÷89	1250÷1350	1700÷2100	4500	560	59		
85	15	13,8÷14,0	86÷88	1150÷1250	1800÷2200	3900	540		6	
80	20	13,1÷13,3	83÷86	1050÷1150	2000÷2600 ³⁾	3400	500		4,7(0÷300°C) 6,2(300÷600°C)	
75	25	12,8÷13,0	82÷84	900÷1000	2000÷2800 ³⁾	3200	470		5,0(0÷300°C), 6,7(300÷600°C)	
70	30	12,3÷12,5	80÷82	850÷950	1800÷3000 ³⁾	3000	440			
-	100	8,7		125÷250	700÷1200		180	71	5,1	14

Pozn.: 1) hrubozrnná fáze WC, 2÷4 μm; 2) jemnozrnná fáze WC, 0,5-2,0 μm;
3) výrazně závisí na velikosti zrna a změnách v obsahu uhlíku; 4) střední hodnoty

Obr. 12 Tabulka s vlastnostmi SK typu WC-Co[20]

Pevnost v tlaku ve srovnání s jinými technickými materiály mají slinuté karbidy WC-Co mnohem vyšší pevnost v tlaku. Podobně, jako další mechanické vlastnosti, i pevnost v tlaku závisí zejména na obsahu pojiva.[20]

Lomová houževnatost K_{IC} je definována jako kritická hodnota součinitele intenzity napětí v okamžiku nestabilního šíření trhliny a je mírou odolnosti tělesa s definovanou trhlinou proti křehkému porušení. Únavové trhliny se v materiálech WC-Co šíří preferenčně po hranicích sousedících zrn a dále po fázových hranicích zrno - pojivo. S rostoucí velikostí zrna roste střední tloušťka vrstvy kobaltové fáze a klesá rychlost šíření trhlín, protože v houževnatém pojivu se trhliny šíří do větší vzdálenosti; v jednotlivých velkých zrnech WC se mohou objevit i transkrystalické trhliny. Se vzrůstajícím obsahem Co roste citlivost materiálu na tvoření trhlín, protože se zvyšuje jejich hustota (počet trhlín na jednotku délky), rychlost šíření trhlín klesá.[20]

4. Popis stávající technologie výroby

V této kapitole diplomové práce bude nejprve představen provoz, kde je finální obrobek aplikován. Tento provoz představuji, jelikož je důležité, aby čtenáři byli úplně seznámeni s celkovou problematikou válečků pro válcování drátu.

4.1 Úvod do problematiky

Zde nejprve představím provoz válcovny drátu a následně firmu SAS a.s. ve které se v soustružně váleček obrábí. Následně bude rozebrána problematika kalibrační tabulky, kde bude znázorněna problematika značení válců a následně proveden rozbor soustružení válců.

V dalších bodech bude uveden výkres kalibračního válce a také rozebráno chemické složení válce a v poslední řadě schéma válcovací mezery válce, které je totožné s obráběnou plochou.

4.1.1 Představení Válcovny drátu

Válcovaný drát je stěžejním produktem TŽ a.s. Sortiment válcovaného drátu je široký a zahrnuje nízkouhlíkové, vysokouhlíkové a speciální oceli. V roce 2014 proběhla rekonstrukce válcovny drátu. Tato rekonstrukce přinese možnost válcování drátu a o průměru 5mm a dále také zlepšení tolerance na $\pm 0,1\text{mm}$. V dalším ohledu přinese zvýšení kapacity tratě. Rekonstrukce válcovny zapříčinila vzrůst spotřeby válců pro válcování a tím i navýšení obrábění válců.

Přínosem ve vlastnostech drátu jsou například snížení rozptylu pevnosti ve svítku, zvýšení hladiny pevnosti, zlepšení mikrostruktury drátu, zrovnoměnění zrna, zlepšení tažitelnosti drátu [11].

Technické parametry:

- Vsázka – sochory 150 x 150mm x 12m
- Výrobek – válcovaný drát o průměru 5-16mm
- Kapacita výroby – 820 000 tun za rok
- Válcovací rychlost – až 105 m/s dle průměru drátu

Technologický tok materiálu:

1. Kroková pec
2. Horizontálně – vertikální pořadí
3. Předválcovací pořadí
4. Střední pořadí
5. Vodní chlazení
6. Dvou-stolice CL (16,17)
7. Vodní chlazení
8. Dvou-stolice CL (18,19)
9. Vodní chlazení
10. Hotovný blok
11. Vodní chlazení
12. RSM blok
13. Vodní chlazení
14. Vzduchové chlazení STELMOR
15. Odběr zkoušek
16. Lisování
17. Expedice

Výrobní sortiment:

- Drát z nízkouhlíkových ocelí, drát pro výrobu lan, ocelových kordů, šrouby a spojovací díly, výrobu řetězů, drát pro výrobu pružin, drát z ložiskové oceli, drát z automatové oceli, žíhaný drát[23].



Obr. 13 Aplikace válcovaného drátu v praxi [23]

Při rekonstrukci válcovny drátu došlo k vyšší spotřebě válců pro válcování. Vlivem této rekonstrukce tak bylo zapotřebí zvýšit i kapacitu výroby obrobny válců. Toto kapacitní zvýšení výroby však vyžadovalo právě využití metody jak soustružení tak i broušení. Stará technologie byla založená na broušení, a všechny tvary kalibrů válců se pouze brousily tvarovými kotouči. Jelikož tato výroba nedostačovala poptávce válcovny po válcích, byla na hrubovací operace aplikována metodika soustružení, jenž u velkých kalibrů přinesla zvýšení efektivity procesu obrábění. Soustružení se také využívá pro výrobu předhotovných válců, i pro renovaci válců.

VÁLCOVACÍ STOLICE CL:

Předhotovná válcovací stolice CL je duo stolice, která nemá při válcování vysoký úběr na vývalku. Výzkumem i konzultacemi při technologii válcování zejména s úsekem kalibrace vyústily v návrh předhotovné válce soustružit. Testy prakticky zhodnotily vliv soustruženého povrchu válce a vliv válce broušeného na vývalek. Jelikož CL stolice je stolice předhotovná, vývalek který jimiž projde, putuje dál do hotovního bloku a kalibrační RSM stolice může být tento druh válců soustružen. CL stolice 16,17 se používají pro veškerý sortiment válcovaného drátu. CL stolice 18, 19, které jsou po rekonstrukci válcovny v trati nové, se používají pouze pro sortiment průměru drátu 5,5 – 11,5 mm.

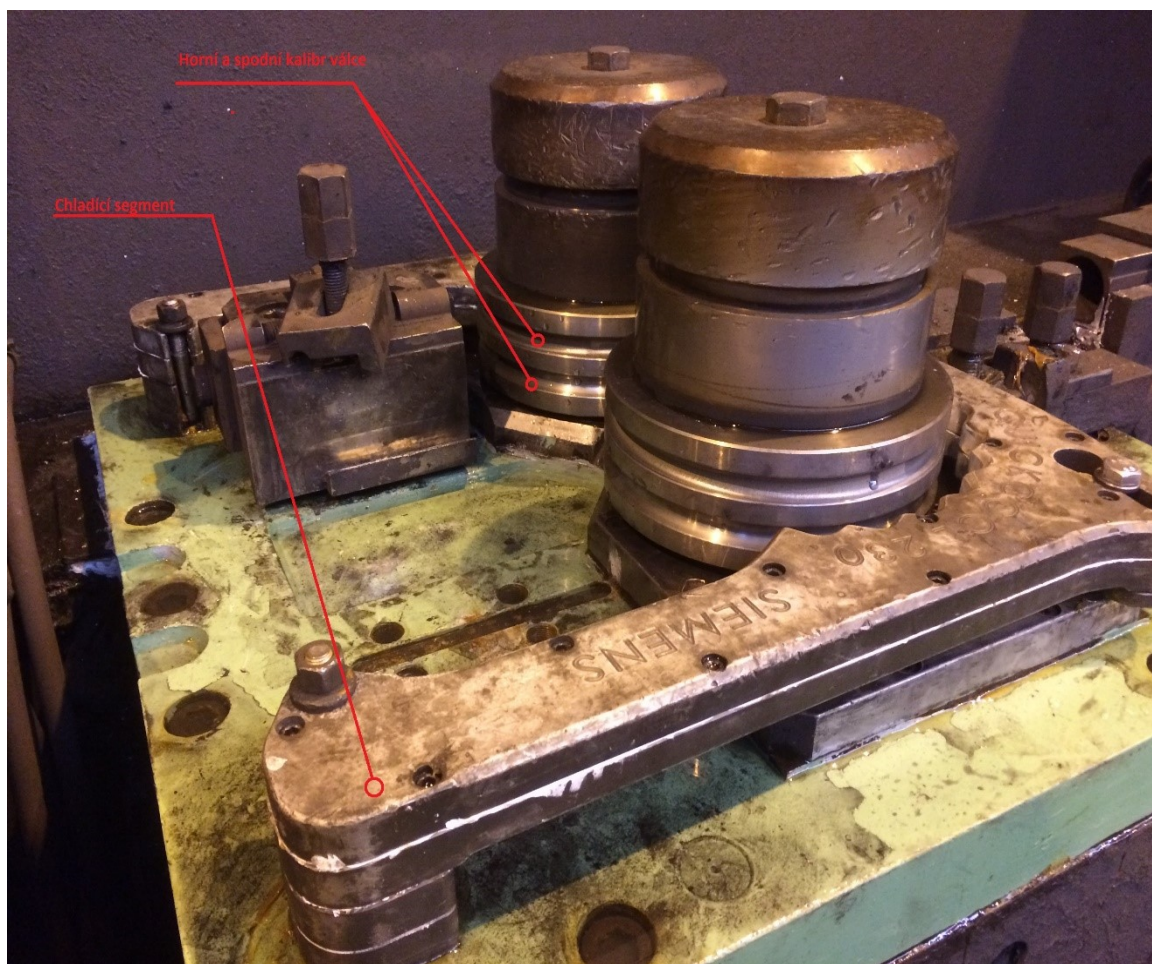


Obr. 14 Obrázek namontovaných válců na CL stolici

Dle obrázku č. 14 kde je válec připraven pro válcování, že válce jsou intenzivně chlazeny vodou, která je přiváděna speciálními chladicími segmenty od firmy Siemens. SK materiál musí být chlazen, protože by nápor teploty a opotřebení drátu nevydržel. Válce jsou upínány na válcovou plochu pomocí speciálního kuželového pouzdra, a na toto kuželové pouzdro jsou montovány pomocí hydraulického natahováku.

CL stolice 16,17 (neboli staré CL stolice) jsou označeny v interním značení A, B, O15C, O16C,S9,S8 a jsou vždy jedno-kalibrové.

CL stolice 18,19 (neboli nové CL stolice) jsou označeny v interním značení C, D a jsou vždy dvou-kalibrové.



Obr. 15 – Ukázka kalibrů a chladicího segmentu

4.1.2 Strojírny a stavby Třinec, a.s.

Strojírny a stavby Třinec, a.s. jsou 100% dceřinou společností Třineckých železáren, a.s. V současné době je společnost zaměřena na zakázkovou strojírenskou výrobu a provádění a údržby zařízení. V oblasti strojírenství se jedná o zakázkovou výrobu technologických celků a svařenců včetně opracování na CNC strojích, volně kované výkovky a výrobu hutních válců pro válcování za tepla.[24]

Základ Strojíren tvoří 6 provozů:[24]

- Mechanické dílny
- Soustružna válců
- Zámečnické dílny
- Elektrotechnické dílny
- Stavební dílny
- Žárotechnické dílny
- Konstrukční útvar (konstrukční a vývojové činnosti)

Soustružna válců

Hlavní výrobní aktivitou provozu Soustružna válců je výroba a renovace hutních válců pro válcování za tepla. Hutní válce jsou vyráběny na hotovo včetně kalibrace na moderních CNC obráběcích strojích.[24]

Hlavní činnosti:[24]

- Výroba a opracování hutních válců
- Renovace válců navařováním
- Gravírování CNC
- Broušení
- Tepelné zpracování
- Dělení materiálu

4.1.3 Válec pro válcovací CL stolici

Válec pro válcovací stolici je vyroben ze slinutého karbidu. Slinutý karbid se používá, jelikož je otěru odolný, má vysokou lomovou houževnatost a pevnost v tlaku. Karbid je nutno intenzivně chladit, což je zde ošetřeno pomocí speciálních chladících segmentů.

Jelikož válce pracují v podmínkách, kde působí řada destruktivních mechanismů, dochází vlivem těchto mechanismů k znehodnocování kalibrů válců. Tyto skutečnosti jsou proto důležité již od obrábění, kdy povrch kalibru musí být zhotoven na požadovanou Ra, jelikož zvýšení hodnoty Ra by mohlo způsobit zvýšenou reakci s okolním prostředím.

Mechanismy opotřebení válců

- Trhliny
- Opotřebení
- Koroze

Trhliny

Jsou zdaleka nejvýznamnějším faktorem v procesu znehodnocování válců. Lze rozlišovat mezi dvěma druhy trhlin. Zde bohužel dochází k působení mnoha faktorů a také mnoha mechanismům, které trhliny mohou způsobovat.

Trhliny vznikají jak u otvoru, tak na povrchu válce. V případě trhlin, které vznikají u otvoru se šíří kruhovou sekci válce. Trhliny mají za následek destrukci celého válce.

Trhliny vznikající na povrchu válců vznikají nejčastěji vlivem únavy povrchu materiálu (kalibru). Tepelná únava je hlavním destruktivním činitelem způsobující zhoršování kvality kalibru. Tyto trhliny samy o sobě nezpůsobují zničení válců, ale jejich vývoj povede k předčasnému znehodnocení válců. Tepelné únavy závisí především na mechanických pnutích vyvíjených v důsledku procesu válcování.

- Při nižších válcovacích rychlostech - vyšší čas k průniku tepla hlouběji do kalibru
- Kombinací velkých úběrů a tvrdého materiálu – výraznější tvoření tepla
- Na velkých válcích – rozsáhlejší styčné plochy
- Neadekvátním chlazení může být jeden z nejhlavnějších faktorů

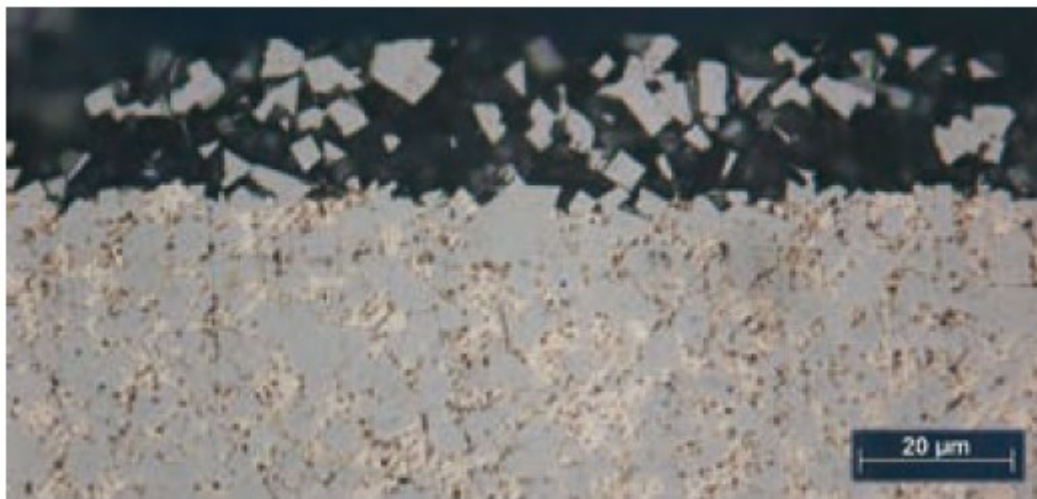
Opotřebení

Abrazivní opotřebení je způsobeno pohybem mezi drátem a válcem. Třecí síly vznikají v důsledku tohoto pohybu a mohou způsobit odlamování malých částic z povrchu kalibru. Dalším aspektem, který způsobuje opotřebení, jsou oxidické částice z povrchu drátu.

Koroze

Koroze způsobuje úbytek pojivé fáze na odhalených površích, zvláště pak na površích přítomných trhlin. Přítomnost koroze lze nejjednodušší určit na poměrně nových kalibrech, kde se projevuje ve formě tvoření důlků. Budou-li za takových podmínek válce ponechány v provozu, dojde vlivem destruktivních mechanismů k zacelení těchto důlků. Jako možné opatření zamezení koroze patří úprava chladicí vody vápencem nebo alkáliemi.

Korozi také urychluje to, že při vysokých teplotách dochází k degradaci pojivové fáze, což zvýší proces opotřebení. V důsledku koroze se z wolfram-karbidového skeletu uvolňuje kobaltová matice.

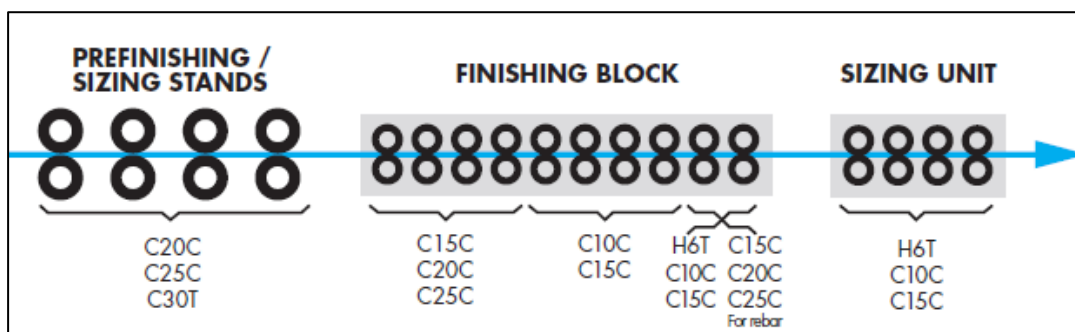


Obr. 16 – Uvolnění kobaltové matice z wolfram-karbidového skeletu

Pojivo Co, pH4 – délka testu 168 hodin [25]

Materiál pro válce kalibrů

Jako materiál válců je užit slinutý karbid na bázi WC. Poměr jednotlivých % obsahu jednotlivých prvků je zobrazen na obr. 18. Celkově při návrhu materiálů válců je nezbytné zvážit zejména obsah pojiva, které přímo ovlivňuje tvrdost a obrobiteľnosť válce.



Obr. 17 – Tok materiálu ve válcovací trati[27]

Dle obrázku 17 můžeme konstatovat, že pro předhotovni, hotovni a kalibrující pořadí volíme různé druhy materiálů. Dle obr. 18 pak můžeme jednotlivé materiály firmy Sandvik posoudit dle jejich vlastností.

Označení	Složení				Rozměr zrna (μm)	Hustota g/cm^3	Tvrdost	
	WC	Co	Ni	Cr			HV30	HRA
C10C	90	4,5	4,5	1	Coarse (4)	14,5	1150	87,5
C15C	85	7	7	1	Coarse (4)	14,0	900	85,0
C20C	80	9	9	2	Coarse (4)	13,5	800	83,5
C25C	75	12	12	1	Coarse (4)	13,0	670	82,5
C30T	70	13	15	2	Extra-Coarse (5)	12,7	580	81,5
H6T	94	6	–	–	Extra-Coarse (5)	14,8	1250	89,0

Obr. 18 – Mechanické vlastnosti jednotlivých materiálů [26]

Jelikož se diplomová práce zabývá obrábění CL stolic, využívá materiálu C20C jenž je uveden na obr. 18.

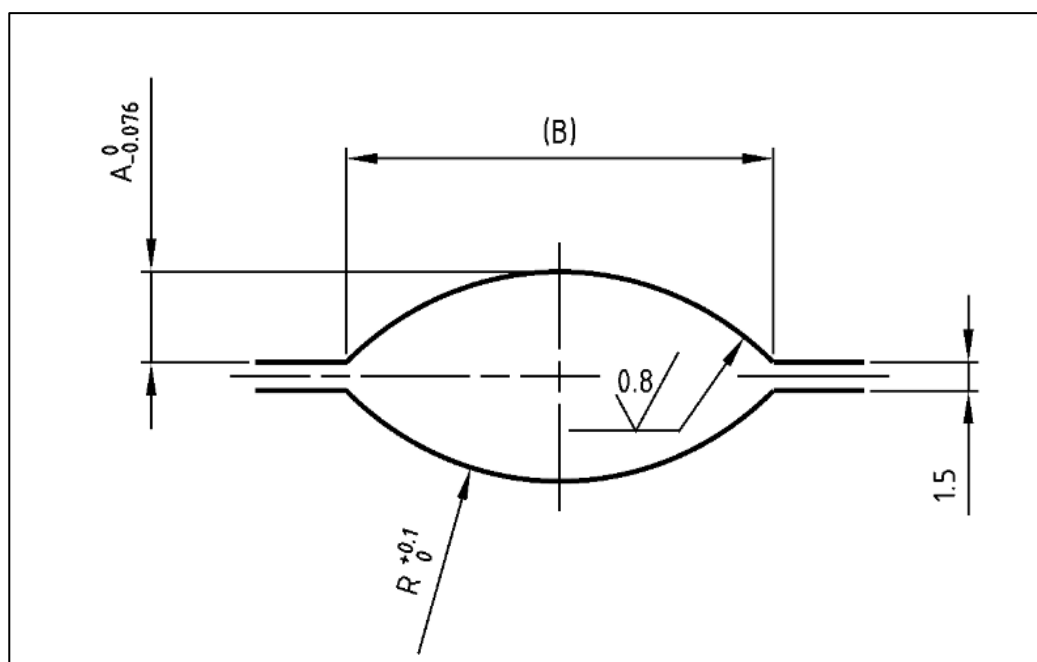
Kalibrační tabulka

Je interní dokument, který slouží k označení válců, které se pohybují mezi soustruženou a válcovnou. Dále slouží jako orientační pomoc při veškerých montážních pracích jako například výměna válců.

CL stolice 16, 17, 18, 19 jsou pouze soustruženy a v tabulce jsou označeny písmeny A,B,C,D případně O15C,O16C,S9 nebo S8.

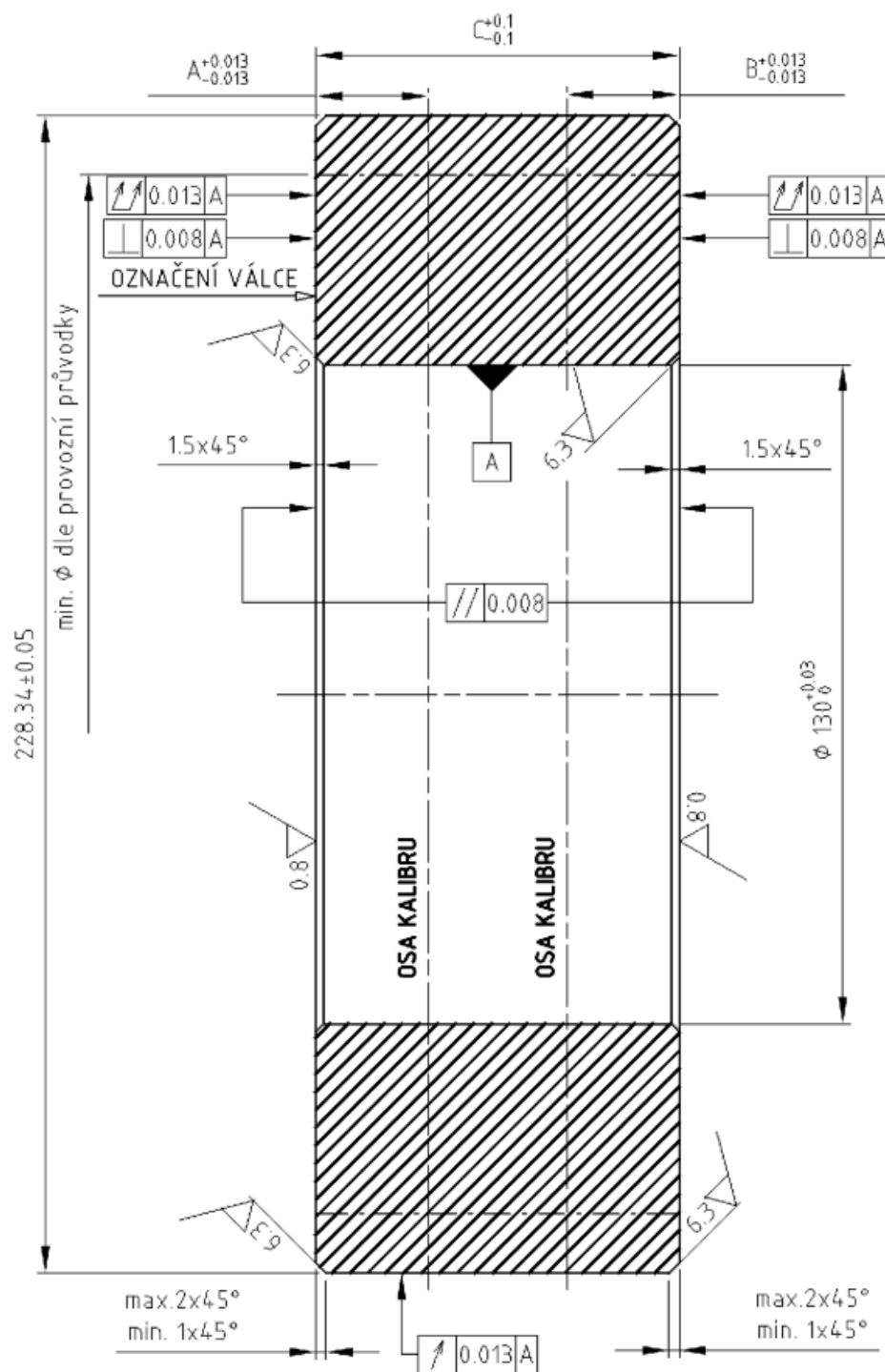
Kalibrační tabulka je přidána do příloh diplomové práce jako příloha A.

Kalibr stolice CL 18



Obr. 19 Tvar kalibru CL stolice č. 19

Rozměry na tomto nákrese jsou jen informativní, kalibrační míry je přísně zakázáno zveřejňovat.

Válec pro kalibr CL18

Obr. 20 Náčres válce pro CL stolici č. 18

Rozměry na tomto nákrese jsou jen informativní, kalibrační míry je přísně zakázáno zveřejňovat.

4.2 Broušení kalibrů

Broušení kalibrů válců válcovacích stolic je metoda, která je stále využívána pro obrábění válců. Jelikož je tato metoda časově náročná, byl vyvinut tlak ze strany provozu i vedení obrobny na zvýšení produktivity výroby. Broušení se tedy například u předhotovných stolic úplně nahradilo soustružením. Jsou však válce, kde se broušení stále využívá k obrábění válců, konkrétně válce hotovných stolic, RSM stolic a pohaněčů. V minulosti tomu bylo tak, že se broušení používalo ke kompletnímu obrábění všech druhů kalibru. Nyní využíváme možnost soustružení jako hrubovací metody, a následně se kalibry brousí. Hrubování se vyplatí při větších rozměrech kalibrů. Jsou ovšem i takové rozměry jako je například kalibr pro válcování drátu o malém průměru (5,5), který je tak rozměrově malý, že se nehrubuje, ale rovnou se brousí tvarovým brusným kotoučem.

Jelikož válce hotovných stolic a pohaněčů mají dle výkresové dokumentace nižší R_a než válce předhotovných stolic, všechny tyto druhy válců se musí brousit, jelikož bychom soustružením nedocílili požadované drsnosti.

Broušení se dále používá jako renovační metoda, kdy se kalibry válců mohou rozšiřovat (renovovat) a kalibry se tak přebroušují do určité míry stanovené výkresem.

Stroj

Jako stroj pro broušení kalibrů válců se používá CNC řízená bruska AT710 E CNC od firmy ATOMAT. Tato speciální bruska je navržena přímo pro broušení kalibrů válců válcovacích stolic nebo dalšího příslušenství pro válcování.

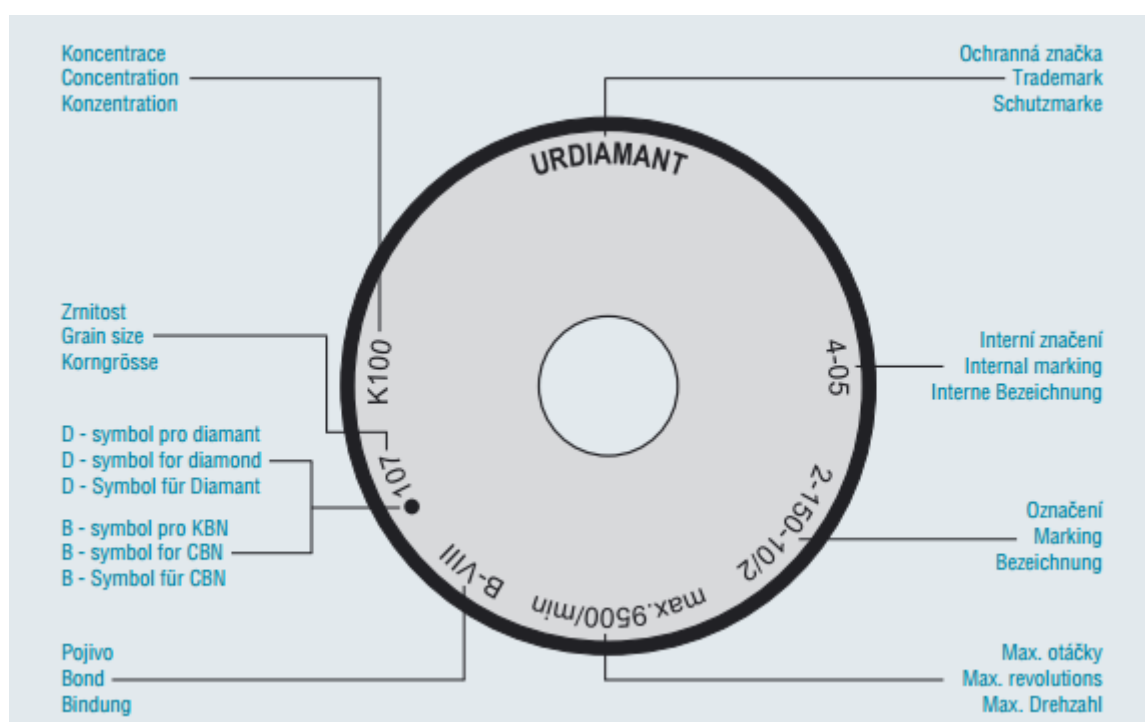


Obr. 21 Bruska ATOMAT [27]

Nástroj

Jako nástroj pro broušení se používá brusný kotouč, jenž je pro každý specifický tvar kalibru jiný a přesně vyroben pro tvar kalibru. Každý rozměr kalibru dle kalibrační tabulky tak má pro svůj rozměr speciální kotouč, jenž odpovídá rozměru kalibru. Kotouče jsou z diamantového materiálu. Jako dodavatel kotoučů používá firma SAS a.s. firmu URDIAMANT, s.r.o. která je výrobcem i dodavatelem nástrojů pro broušení.

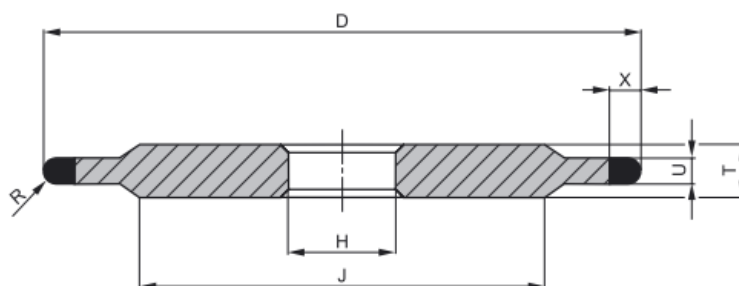
Označení nástroje je dle popisu firmy následující:



Obr. 22 – Značení brusných kotoučů firmou URDIAMANT, s.r.o.[29]

Dle konkrétně užitého typu kotouče, jenž se firmou SAS, a.s. používá je označení:

URDIAMANT TN625167, D126 C100 B53, 1FF1B, 01227AT R=22,5 v_{max}. 63m/sec



Obr. 23 – Tvar a základní rozměry kotouče [29]

Upnutí obrobku

Pro upnutí obrobku je použito hydraulického upínacího, kde se obrobek upne za vnitřní část válcové plochy díry. Kleština, která se poté roztáhne a obrobek upne je řízena pomocí hydraulického systému. Obrobek je opřen svou válcovou částí o doraz upínacího mechanismu a tak má přesně danou polohu.

Chlazení brusného kotouče

Celý řezný proces musí být intenzivně chlazen z důvodu odvodu tepla z místa řezu. K tomuto chlazení je použito intenzivního chlazení, kdy do místa řezu je za pomoci stavitelných trubic je přivedena kapalina OEST COLOMETA SSK – H7.

Řezné podmínky při broušení

Tab. 2 – Řezné podmínky při broušení

Posuv brusného kotouče	Otáčky obrobku	Otáčky brusného kotouče
0,006 mm/ot	10 ot/min ⁻¹	1200 ot/ min ⁻¹

Uvedené řezné podmínky jsou orientační, regulují se dle průměru obrobku, materiálu brusného kotouče, průměru brusného kotouče.

Drsnost povrchu

Drsnost povrchu se pohybuje okolo Ra 0,4-0,6. Drsnost povrchu je závislá na druhu brusného kotouče a na řezných podmínkách druhu a zrnitosti kotouče.

Orovnávací stroj

WENDT WDM 42 VISIO je orovnávací stroj, který slouží k přípravě povrchu brusných kotoučů. Je to 5 osá CNC orovnávačka, která svým řízením umožní snadnou přípravu kotoučů. Každý kalibr pro válcování drátu má určený svůj brusný kotouč, jenž odpovídá rozměrem tvaru kalibru. Kotouč se upíná na kužel a následně se zaměří optikou a dle NC programu se následně kotouč přebroušuje na požadovaný tvar. Úběry z kotoučů se pohybují v řádech tisícin. Celý řezný proces je doprovázen intenzivním chlazením pomocí chladicího koncentrátu. Pro orovnávací se používají diamantové kotouče značky 3M, konkrétně 3M 5C54 21237301.



Obr. 24 Orovnávací stroj WEND WDM 42 VISIO

Výhody stávající metody:

- Drsnost povrchu
- Přesnost
- Menší spotřeba kotoučů

Nevýhody stávající metody:

- Nízká produktivita
- Vliv na životní prostředí
- Pro každý tvar a rozměru kalibru musí být zvláštní kotouč
- Pro přípravu kotoučů je zapotřebí další stroj

5. Návrh nové technologie výroby

Při rekonstrukci válcovny drátu došlo k vyšší spotřebě válců pro válcování. Vlivem této rekonstrukce tak bylo potřeba zvýšit i kapacitu výroby soustružny válců. Toto kapacitní zvýšení výroby však vyžadovalo právě využití metody soustružení tak i broušení. Stará technologie byla postavena pouze na broušení, a všechny tvary kalibrů válců se pouze brousily. Jelikož tato produkce válců nedostačovala poptávce válcovny po válcích, byla tak navržena a aplikována metoda soustružení.

V podstatě je tato metoda využita následujícími způsoby:

- Soustružení válců předhotovných stolic – na hotovo bez přídavku
- Soustružení reliéfu kalibrů (po broušení)
- Hrubování soustružením před broušením – RSM stolice, hotovní stolice, pohaněče
- Renovace od-válcovaných kalibrů

Následující části se budou zabývat pouze soustružením válců předhotovných stolic, konkrétně CL stolice 18.

5.1 Stroj a upnutí obrobku a nástroje

Jedná se o CNC soustruh od firmy HAAS, konkrétní označení je HAAS ST-30 vybaven



Obr. 25 CNC soustruh HAAS ST-30[30]

Tab. 3 – Základní parametry soustruhu [30]

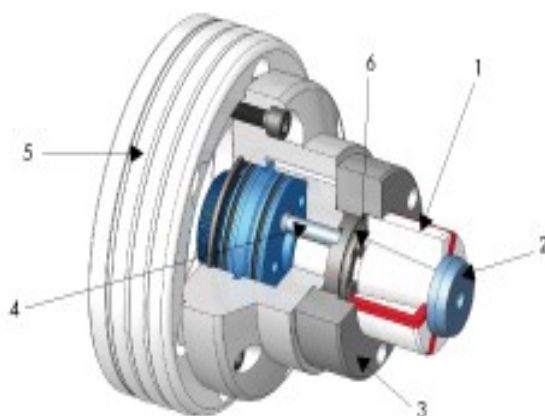
OBĚŽNÝ PRŮMĚR		POJEZDY A RYCHLOSTI POSUVU	
Přes přední kryt	806 mm	Osa X	318 mm
Přes příčný suport	527 mm	Osa Z	660 mm
Přes koník	584 mm	Rychloposuv na X	24.0 m/min
VŘETENO		Rychloposuv na Z	24.0 m/min
Max. výkon	22.4 kW	Max. síla X	18238 N
Max. rychlost	3400 rpm	Max. síla Z	22686 N
Max. krouticí moment	407 Nm, 500 rpm	KAPACITY	
Čelo vřetena	A2-6	Velikost sklíčidla	254 mm
Průchod vřetena o	88.9 mm	Tyčová kapacita	76 mm
Počet nástrojů	12	Mezi středy	762 mm

Jako velká výhoda tohoto soustruhu je přítomnost revolverové hlavy, která umožňuje upnout až 12 nástrojů a tím zkrátit proces pro změnu nástroje.

Způsob upnutí obrobku

Při důrazu na přesnost obrábění je klíčovým prvkem pro jeho dosažení způsob upnutí. Jako mechanismus upnutí v našem případě využíváme hydraulicky řízený systém upínání HAINBUCH Mandrel Mando T211. Upnutí obrobku je realizováno za vnitřní průměr.

Centrálním prvkem je vulkanizované segmentované upínací pouzdro. Hainbuch segmentovaná pouzdra vyrábí z povrchově vytvrzené chromniklové oceli, jenž je odolná vůči zátěži, opotřebení a dostatečně.



1-Segmentové upínací pouzdro s vulkanizovanými segmenty,

2-Pojistný šroub

3- Doraz pro upnutí

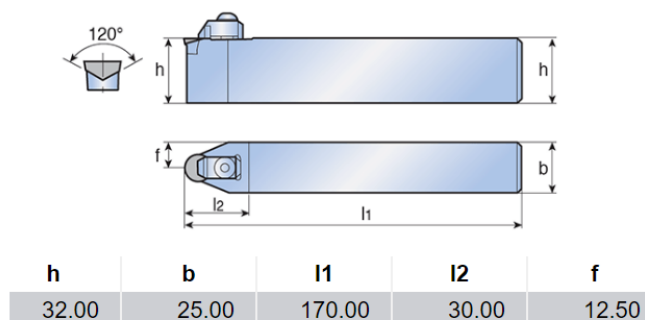
4 – Vyhazovače pro otevření pouzdra

5 – Příruba vřetene

Obr. 26 – Detail upnutí obrobku [31]

Způsob upnutí nástroje (VBD)

Pro upnutí VBD je použit držák břitové destičky CRDCN 3225 P06-120 od firmy TAEGU-TEC.



Obr. 27 Základní rozměry držáku VBD a způsob upnutí VBD [32]

5.2 Výrobní postup součásti

Přejímka válce

- kontrola válce dle průvodky, kontrola jeho vzhledu a jakosti

Proměření průměru válce

- dle výkresové dokumentace proměření vnějšího průměru válce pomocí posuvného měřidla Mitutoyo CDC-P30PMX, rozsah 0-300, přesnost 0,01mm.

Upnutí válce (obrobku) pomocí hydraulického mechanismu

- očištění styčných ploch a následné upnutí pomocí hydraulického mechanismu za vnitřní průměr válce

Kontrola VBD

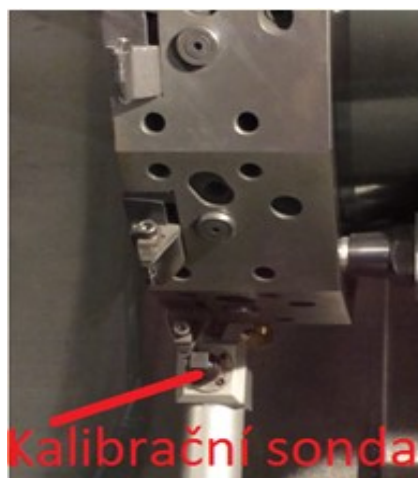
- vizuální kontrola VBD a jejich případná výměna nebo otočení

Zavření stroje, vyvolání CNC programu a jeho kontrola s průvodkou

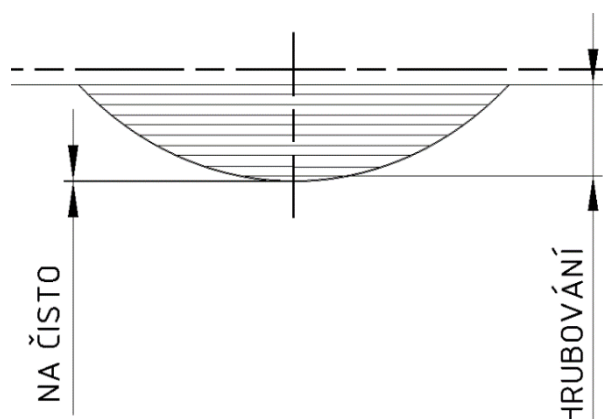
- název programu je stejný jako označení válce, tudíž proběhne ještě jednou kontrola volby CNC programu před jeho spuštěním

Proměření jednotlivých VBD na revolverovém držáku

- pomocí kalibrační sondy se každý VBD z revolverové hlavy kalibruje



Obr. 28 – Kalibrace



Obr. 29 – Proces soustružení

Soustružení kalibru č. 1

Tab. 4 – Proces soustružení

NÁSTROJ T01	Hrubovací proces (3 třísky)	$a_p = 0,5\text{mm}$ $f = 0,6\text{ mm}$ $n = 50\text{ ot.min}^{-1}$
NÁSTROJ T02	Hrubovací proces (3 třísky)	
NÁSTROJ T03	Hrubovací proces (2 třísky)	
NÁSTROJ T04	Příprava pro dokončovací proces Zanechání přídávku 0,1 mm pro šlichtování	$a_p = 0,5\text{mm}$ $f = 0,6\text{ mm}$ $n = 50\text{ ot.min}^{-1}$
NÁSTROJ T05	Šlichtování kalibru na hotový rozměr	$a_p = 0,1\text{mm}$ $f = 0,24\text{ mm/ot.}$ $n = 50\text{ ot.min}^{-1}$

Zastavení stroje, proměření hloubky kalibru

- proměření hloubky kalibru dle výkresové dokumentace – Hloubkoměr SOMET DIN878, rozsah 0-10mm, přesnost 0,1mm, zápis naměřených hodnot

Zastavení stroje, proměření hloubky kalibru

- proměření hloubky kalibru dle výkresové dokumentace – Hloubkoměr SOMET DIN878, rozsah 0-10mm, přesnost 0,1mm



Obr. 30 – Měření hloubky kalibru

Otočení válečku a soustružení kalibru č. 2**Otočení VBD****Proměření jednotlivých VBD na revolverovém držáku****Soustružení kalibru č. 2**

- parametry viz Tab. 4
- stejný výrobní proces

Kontrola tvaru kalibru dle šablony

- opětovná kontrola tvaru kalibru dle šablony



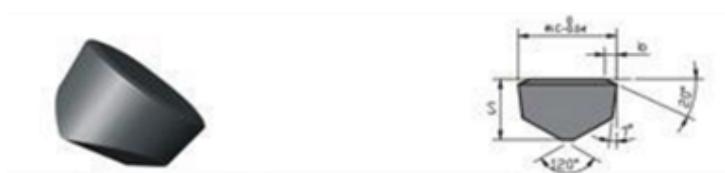
Obr. 31 – Kontrola tvaru kalibru dle šablony

5.3 Volba VBD pro soustružení

Jelikož je obráběn slinutý karbid, jako materiál VBD byl zvolen kubický nitrid bóru.

5.3.1 MBN 3500 s fazetkou

Jedná se o VBD která je vyrobena v Číně. Jedná se o VBD RCMX060400 MBN3500.



ISO	L	Ø i.c.	s	b
RCMX060400	6,35mm	6,35mm	4,76mm	2mm

Obr. 32 Tvar a základní rozměry VBD [33]

Tab. 5 Mechanické vlastnosti MBN 3500 [33]

Tvrdost	Pevnost v ohybu (MPa)	Hustota (g/cm ³)	Použití
HRA95	1200	3,50	Střední až vysoká rychlost řezání

Složení materiálu CBN je vytvořeno tak, aby měl výborné vlastnosti proti opotřebení a vysokou odolnost vůči teplotě. Tento druh kubického nitridu bóru je vhodný pro obrábění Ni-Cr ocelí, vysoce chromovaných ocelí a kalených ocelí. Dá se také využít pro obrábění šedé litiny. Jako hlavní oblast užití je pak obrábění spékanych materiálů (HRA88 ~ 90).

Ve výsledcích v následující kapitole je uveden tento druh destičky byl složením vhodný, avšak sražení hrany působilo při obrábění problémy.

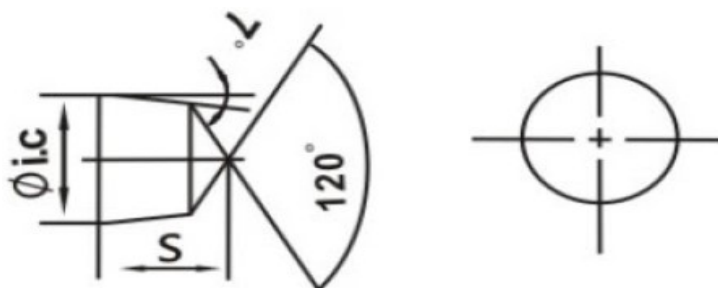
5.3.2 MBN 3500 bez fazetky

Jedná se o VBD která je vyrobena v Číně. Označení VBD je VBD RCMX060400 MBN3500.

Tato destička má stejné mechanické vlastnosti, je ovšem bez sražení bříty (fazetky), což je rozebráno v kapitole Výsledky testování VBD.

5.3.3 SCBN250

Jedná se o VBD RCMX060400 SCBN250 firmy SINAMASTER bez fazetky.



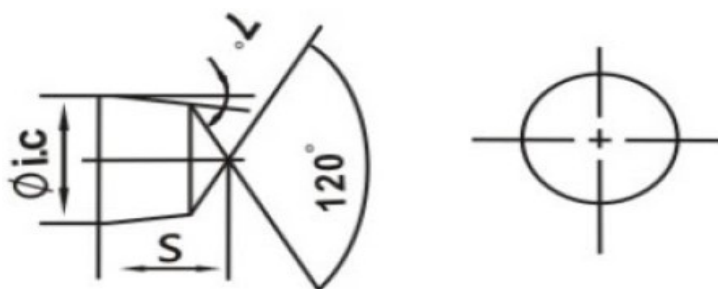
ISO	L	Ø i.c.	s	Základ
RCMX060400	6,35mm	6,35mm	4,76mm	kužel

Obr. 33 Tvar a základní rozměry SCBN250 [34]

SCBN250 je vhodný pro hrubovací a předhotovňové operace. Dle katalogu je vhodný pro aplikace pro kalené oceli, chromové oceli a obrábění spékanych materiálů

5.3.4 SCBN120

Jedná se o VBD RCMX060400 SCBN120 firmy SINAMASTER. Rozměry i tvar jsou stejné jako v případě SCBN250, rozdílný je pouze materiál CBN.



ISO	L	Ø i.c.	s	Základ
RCMX060400	6,35mm	6,35mm	4,76mm	kužel

Obr. 34 Tvar a základní rozměry SCBN120 [34]

SCBN120 je vhodný pro hrubovací a předhotovňové operace. Dle katalogu je vhodný pro aplikace pro kalené oceli, vysokouhlíkové oceli a litiny.

5.4 Řezné podmínky

Volba řezných podmínek byla volena dle zkušeností obsluhy a také dle podmínek dodavatelů destiček. Při volbě podmínek byly klíčové podmínky otáčky a úběr třísky. Jelikož z časového hlediska musel proces být pokud možno co časově nejkratší, zvlášť u hrubování byla odebírána tříska 0,5mm. Dle dostupných katalogů a také jiných zkušeností byly hrubovací třísky voleny menší a zvýšeny otáčky. Tento stav byl ale nepřijatelný a bylo snahou celý řezný proces zefektivnit tak, aby hrubovací tříska byla 0,5mm a zároveň dosaženo přijatelné opotřebení řezného nástroje.

Podmínky pro obrábění na čisto byly u všech destiček totožné, a proto pro ně je vytvořena pouze jedna tabulka.

Tab. 6 Řezné podmínky pro hrubování – test č. 1

HRUBOVÁNÍ	5.3.1	5.3.2	5.3.3	5.3.4
n - Otáčky [min^{-1}]	70	70	70	70
f - Posuv [mm]	0,6	0,6	0,6	0,6
a_p - Hloubka třísky [mm]	0,5	0,5	0,5	0,5
vc - Řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	50,19	50,19	50,19	50,19
D - Průměr obrobku [mm]	228,34	228,34	228,34	228,34

Tab. 7 Řezné podmínky pro hrubování – test č. 2

HRUBOVÁNÍ	5.3.1	5.3.2	5.3.3	5.3.4
n - Otáčky [min^{-1}]	50	50	50	50
f - Posuv [mm]	0,6	0,6	0,6	0,6
a_p - Hloubka třísky [mm]	0,5	0,5	0,5	0,5
vc - Řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	35,85	35,85	35,85	35,85
D - Průměr obrobku [mm]	228,34	228,34	228,34	228,34

Tab. 8 Řezné podmínky pro obrábění na čisto

NA ČISTO	5.3.1	5.3.2	5.3.3	5.3.4
n - Otáčky [min^{-1}]	50	50	50	50
f - Posuv [mm]	0,24	0,24	0,24	0,24
a_p - Hloubka třísky [mm]	0,1	0,1	0,1	0,1
vc - Řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	35,22	35,22	35,22	35,22
D - Průměr obrobku [mm]	228,34	228,34	228,34	228,34

Pozn. Čísla v záhlaví tabulek jsou označení VBD dle kapitoly 5.3

5.5 Výsledky a poznatky z testů VBD

V této podkapitole budou rozebrány výsledky jednotlivých testů VBD.

5.5.1 MBN 3500 s fazetkou

Při testování tohoto druhu VBD bylo hlavním problémem sražení břitu na VBD. Toto sražení způsobuje odtlačování VBD od obráběného materiálu. Toto odtažení VBD je způsobeno zvýšeným řezným odporem, který při obrábění vzniká.

Při obrábění obrobku pomocí tohoto druhu VBD docházelo také k tvorbě odchylek rozměru. Tyto odchylky byly nejspíš způsobeny zvýšeným řezným odporem.

Tato VBD je vhodná pouze pro hrubovací operace. Při dokončovacím soustružení vznikají odchylky v rozměrech kalibru.

5.5.2 MBN 3500 bez fazetky

Při testování tohoto druhu VBD bylo dosaženo dobrých výsledků. Jelikož je tato VBD ze stejného materiálu jako výše uvedená, dokázala bez problému při hrubovacích operacích odebrat 3 hrubovací třísky bez většího opotřebení nástroje.

Při vyšší řezné rychlosti (viz tab. 6) byl břit po 3 hrubovacích třískách opotřeben tak, že už prakticky nebyl schopen odebírat třísku.

Při snížení řezné rychlosti (viz tab. 7) byl břit schopen odebírat i více jak 3 třísky, takže byl způsobilý pro použití v dalších operacích.

Tento druh VBD se je pro naši aplikaci pro obrábění slinutého karbidu vhodný.

5.5.3 SCBN250 a 5.5.4 SCBN120

Při testování těchto druhů VBD bylo dosaženo dobrých výsledků. Jelikož neznáme druh CBN nemůžeme posoudit vliv složení CBN vzhledem k výdrži břitu.

Při vyšších otáčkách docházelo u obou druhů CBN k výraznému opotřebení VBD. Toto opotřebení prakticky znemožnilo využití pro další operaci soustružení.

Po snížení otáček bylo dosaženo optimálních řezných podmínek, a můžeme výdrži i kvalitou tyto dvě VBD přirovnat k MBN 3500 bez fazetky.

5.5.4 Celkové hodnocení VBD

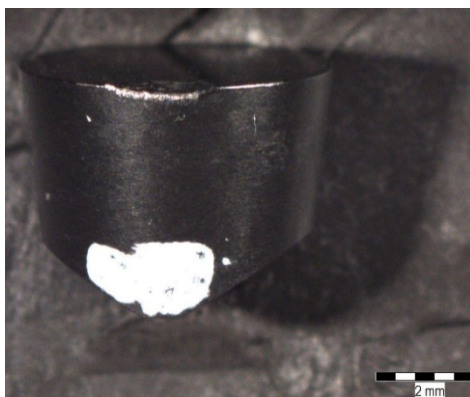
Při obrábění dle zvolených podmínek a VBD bylo docíleno optimálních výsledků. Jako nepřipustné užití VBD jsme označili pouze jeden druh VBD. Ostatní 3 testované VBD byly vlastnostmi i výdrží prakticky vyrovnané. U těchto VBD byl největším problémem regulace řezných podmínek tak, aby VBD vydržel pokud možno co nejvíce hrubovacích operací. Co se týče operací dokončovacích, tam problém nevznikal, jelikož se ubírá menší průřez třísky a také je volen nižší posuv.

Po regulaci řezných podmínek došlo k výraznému zlepšení využití VBD.

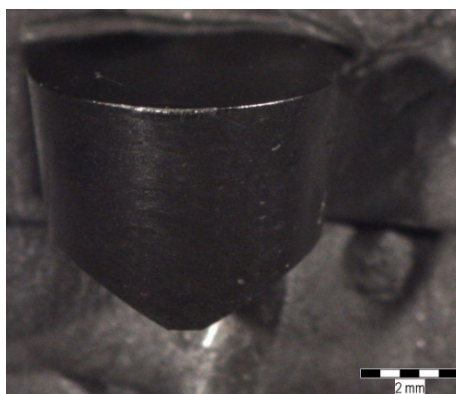
Při volbě druhu VBD je pro firmu nejdůležitější cena/kus destičky. Proto tyto pokusy byly sice pro volbu VBD přínosné, avšak směrodatným parametrem je pro provoz cena.

Makrosnímky byly pořízeny na Makroskopu WILD.

5.5.5 Makrografické snímky opotřebení VBD



Obr. 35 Opotřebení hřbetu při řezné rychlosti 50 m.min⁻¹



Obr. 36 Opotřebení hřbetu při řezné rychlosti 35 m.min⁻¹

5.6 Měření drsnosti Ra povrchu po obrobení

Po opotřebení je dalším důležitým parametrem sledování drsnost obrobeného povrchu. Jelikož jsme v některých uvedených případech nahradili operaci broušení soustružením, musíme však dodržet předepsanou drsnost Ra dle výkresové dokumentace.

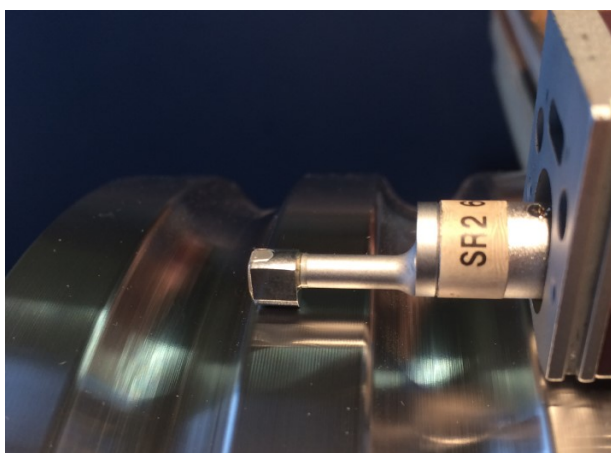
Toto prověření proběhlo pomocí měření drsnosti pomocí drsnoměru Mitutoyo SJ-201P[35].

Tab. 9 – Měření drsnosti Ra na obvodu válce

Číslo měření	Drsnost po soustružení	Drsnost po broušení
1	0,72	0,49
2	0,78	0,54
3	0,79	0,55
4	0,77	0,61
5	0,76	0,45
Aritmetický průměr	0,764 μm	0,528 μm
Směrodatná odchylka	0,024166 μm	0,054553 μm

Jelikož byla drsnost dle výkresové dokumentace stanovena na $Ra=0,8$ tak dle naměřených hodnot může být soustružení pro obrábění takto předepsaných hodnot drsnosti užito.

Drsnost byla změřena na povrchu válce, kde je Ra a i přes toto měření jsme dosáhli splnění předepsaných hodnot dle výkresové dokumentace. V kalibru bude drsnost dosahovat nižších hodnot.



Obr. 37 Měření Ra drsnosti povrchu

5.7 Technicko-ekonomické zhodnocení

Rozhodujícími faktory při stanovení optimálního procesu je cena za kus VBD a výdrž VBD. Jelikož výdrž byla u všech destiček prakticky obdobná, ekonomicky zhodnotit proces tak lze na základě ceny/kus VBD.

Pro hrubování bylo zjištěno, že výdrž VBD jsou 3 hrubovací třísky, poté její schopnost kvalitně obrobit plochu klesá.

Pro operaci soustružení na čisto používáme vždy nový kus VBD z důvodu jakosti a kvality povrchu. Tento VBD je ale po operaci soustružení na čisto prakticky bez poškození a tak jej můžeme užít následně pro operace hrubovací.

Tab. 10– Cena a výdrž testovaných VBD

Druh VBD	Cena/ks	Výdrž při hrubování
RCMX060400 MBN 3500-s fazetkou	650 Kč	3 hrubovací třísky
RCMX060400 MBN 3500-bez fazetky	630 Kč	3 hrubovací třísky
RCMX060400 CBN250	540 Kč	3 hrubovací třísky
RCMX060400 CBN120	480 Kč	4 hrubovací třísky

Jelikož opotřebení je u všech testovaných destiček přibližně stejné, byla tedy zvolena destička s nejnižším nákladem. Tudíž se pro obrábění určila destička RCMX 060400 CBN120.

Pro výrobu kompletně jednoho válečku dle technologického postupu je zapotřebí 5 VBD které jsou uchyceny v nožových držácích revolverové hlavy. Pro soustružení 1. kalibru se použije 5 destiček a pro druhý kalibr se VBD otočí v nožovém držáku a použijí druhé druhý břit VBD.

VBD která se použije pouze pro dokončovací proces je prakticky bez opotřebení a tak se VBD použije pro další hrubovací operace při obrábění dalšího kusu válečku. Takto obrobený váleček by měl neúměrně vysoké náklady z tohoto důvodu se hrubovací VBD přebroušují. Z hlediska konstrukce držáku VBD může být každá VBD 3x přebroušena pomocí diamantového kotouče. Přebroušené destičky je možno použít pouze pro hrubovací operace!

Tab. 11- Počet VBD pro obrobení 1 válečku

Počet VBD pro obrobení 1 válečku (2 kalibry)	
Hrubování	3
Příprava na čisto	1
Na čisto	1
Pro obrobení 1 kalibru	5

Tab. 12- Počet použití VBD při přebroušování

Počet použití VBD při přebroušování	
Hrubování	4x
Příprava na čisto	4x
Na čisto	5x

Dle výše uvedených tabulek lze 5 VBD užitých pro výrobu jednoho válečku dále 3x přebrousit a tím s nimi obrobít celkově 4 válečky. Jelikož při hrubování není směrodatná drsnost ani přesnost povrchu, lze takto VBD přebrousovat a používat je pro hrubovací operace. Pro operaci soustružení na čisto se bere vždy nový kus VBD.

Tab. 13- Porovnání metody soustružení a broušení

Soustružení	
Negativa	Pozitiva
Vyšší nároky na obsluhu	Časově méně náročná metoda
Horší kvalita obrobeneho povrchu	Možnost hrubovat a rychleji tedy připravit obrobek pro broušení
Vyšší spotřeba VBD	Absence chladicí emulze
Je zapotřebí dalšího stroje pro přebroušování VBD (přípravku)	Není nutnost mít pro každý rozměr zvláštní nástroj
	Nižší čas obrobení válečku CL stolice o 50%
Broušení	
Ekologičnost procesu - likvidace chladicí emulze	Nižší drsnost povrchu
Nižší produktivita metody	Vyšší přesnost obrobene plochy
Zvláštní kotouč pro každý tvar a rozměr	Menší spotřeba nástrojů než u soustružení
Je zapotřebí dalšího stroje pro přípravu brusných kotoučů	

Jako další možnost zhodnocení se naskýtá porovnání strojního času opracování součástí. Zde jsem vázán mlčenlivostí vůči firmě SAS Trinec, a.s. a proto mohu pouze konstatovat, že při porovnání broušení a soustružení válce CL stolice č. 18 je broušení asi o 50% déle trvající než soustružení.

Důležitým aspektem celého srovnání je fakt, že broušení nelze úplně nahradit a také jsou například kalibry, které by se z časových důvodů nevyplatily soustružit. Z tohoto důvodu nemůže být broušení v žádném případě nahrazeno soustružením, ale pouze doplňuje a zvyšuje efektivitu celé výroby tam, kde je možno.

5.8 Návrh pro další oblast výzkumu

Z hlediska plánované výroby nebylo možno uskutečnit všechny úpravy a zkoušky, které by mohli přinést další výsledky a inovace procesu.

Při zkoušení VBD bylo dosaženo optimálních výsledků. Navrhl bych ovšem k otestování VBD XCEL CB7015 od firmy Sandvik Coromant.

Jako možnost dalšího výzkumu bych také navrhoval přivést vzduch z revolverové hlavy k nástroji. Přivedený vzduch by mohl mít pozitivní vliv na obrobek, VBD a také pomoci ochladit třísku, jenž je odváděna z místa řezu.

6. Závěr

Diplomová práce byla zpracována za účelem aplikace nové metody v technologickém procesu, kde by měla být přínosem. Jedná se tedy o aplikaci soustružení na místo broušení předhotovných válců CL stolice č. 18. Jelikož problematika válcování drátu je velmi rozsáhlá, byl jako pokus zvolen váleček stolice č. 18, jenž je předhotovný a tak nemá přímý dopad na další kvalitu válcovaného drátu.

Při broušení byla výroba nového válečku CL stolice č. 18 zdlouhavá a zbytečně se tak prodražovala. Jelikož je při broušení nízký úběr třísky, byla vyvinuta iniciativa k inovaci technologie výroby válců. Tato inovace však po pozdějším zvážení nemohla být aplikována na veškeré druhy válečků ale jen na ty, jejichž obrobený povrch nebude mít přímý vliv na kvalitu vývalku válcovací tratě.

Po navržení metody soustružení bylo zapotřebí určit stroj a nástroje vhodné pro obrábění válečků. Při aplikaci soustružení, byly nejprve stanoveny řezné podmínky a následně testovány VBD. Při testování VBD docházelo k postupné korekci řezných podmínek tak, aby bylo dosaženo co možná nejlepších výsledků jak v čase obrábění, tak hlavně v životnosti nástroje.

Pro snížení nákladovosti celého procesu byla dále odzkoušena a aplikováno přebroušování VBD. Pro hrubovací operace se tyto přebroušované VBD plně osvědčily. Pro soustružení na přesný rozměr se vždy používá nový VBD, který je po jeho použití následně přebroušen a aplikován pro hrubovací operace.

Cílem diplomové práce tak bylo úspěšně implementovat metodu soustružení mezi broušení a tak vytvořit vyvážený výrobní proces, který bude pružnější. Z hlediska časového je soustružení a konkrétně hrubovací operace velkým přínosem a zkrácení celého výrobního procesu. Jako klíčová vlastnost soustružení se jeví i fakt, že jej lze využít i na jiné operace například sražení hran nebo vytvoření náběhu na kalibrech.

Závěrem bych tedy uvedl fakt, že metoda broušení válců je v naší aplikaci nepostradatelná, jelikož soustružením nedosáhneme takové drsnosti R_a , aby plně nahradila metodu broušení. Je tedy přínosem, že obě metody jsou kombinovány tak, aby se celkově zvýšila produkce válců a tím uspokojila poptávka válcovny.

Užitá literatura

- [1] *Homel.vsb.cz* [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/EMO_kapitola_06.pdf
- [2] MIKOVEC, M. a kolektiv: *Obrábění těžkoobrobitelných materiálů*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury SNTL, 1963, 316 s.
- [3] *Wikipedia.cz* [online]. In: [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Obrobitelnost>
- [4] *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/workpiece_materials/iso_p_steel/pages/default.aspx
- [5] SADILEK, M.; DUBSKÝ, J.; *Obrábění I – Výběr přednášek*. 2015. VŠB – TU Ostrava, 137 s., ISBN 978-80-246-3857-1
- [6] *Katalog Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://www.rpb.cz/sites/default/files/catalogues/sandvik/MTG_A.pdf
- [7] *MM Průmyslové Spektrum* [online]. [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/suche-obrabeni-snizuje-vyrobní-naklady.html>
- [8] Robert ČEP; Jana PETRŮ. *Úvod do teorie obrábění: Tvorba a tvarování třísky* [online]. 2013. Ostrava, 2013 [cit. 2017-04-04]. ISBN 978-80-248-3013-1. Dostupné z: http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_002/%C3%A9vod%20do%20teorie%20obrab%C3%A9n%C4%Bn%C3%AD/02%20Text%20pro%20e-learning/%C3%A9vod%20do%20teorie%20obrabeni%2003%20Tvorba%20a%20tvarov%C3%A9n%C3%AD%20t%C5%99%C3%ADsky.pdf
- [9] *MM Průmyslové Spektrum* [online]. [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/emo-hannover-nastrojove-novinky-poprve.html>
- [10] *MM Průmyslové Spektrum* [online]. [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/ekologicke-a-technologicke-aspekty-hsc-obrabeni.html>

- [11] BRYCHTA, Josef. *Progresivní metody v obrábění: studijní opora* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011 [cit. 2017-04-04]. ISBN 978-80-248-2513-7.
- [12] *Neutrálně.cz* [online]. [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://neutrálne.cz/wnt-naprosto-presne-nastroje-pro-triskove-obrabeni/>
- [13] BRYCHTA, Josef. *Nové směry v progresivním obrábění* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008 [cit. 2017-04-04]. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [14] *Prodejbrusiva.cz. Techcentrum* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.prodejbrusiva.cz/brouseni-obrabeci-postup-s-presnosti-a-hladkosti-nedosazitelnou-soustruzenim-ani-frezovanim>
- [15] *Uvp3d.cz: Učíme v prostoru* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2445
- [16] DOBROVOLNÝ, Bohumil. Broušení kovů: Teoretické i praktické základy brusičské praxe a příklady nové techniky broušení. 1. vyd. Praha: SNTL, 1959. 102 s.
- [17] *Elektronické učebnice: Učíme v prostoru* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1825>
- [18] BRYCHTA, Josef. *Technologie II* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008 [cit. 2017-04-04]. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [19] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. 2003. Brno: Brno, 2003 [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [20] HUMÁR, Anton. *MATERIÁLY PRO ŘEZNÉ NÁSTROJE: Interaktivní multimediální text pro všechny studijní programy FSI* [online]. 2003. Brno: Brno, 2003 [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf
- [21] *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/cutting_tool_materials/cermet/pages/default.aspx

- [22] *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/cutting_tool_materials/polycrystalline_cubic_boron_nitride/pages/default.aspx
- [23] *Třinecké železářny, a.s.* [online]. [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: www.trz.cz
- [24] *Strojírny a Stavby, a.s.* [online]. [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: <http://www.sas-trinec.cz/>
- [25] *Ceratizit: Wear parts* [online]. [cit. 2017-03-13]. ISBN MA-PRO-0272-CS-06/13-W. Dostupné z: <http://docplayer.cz/6930552-Wear-parts-souhrnny-katalog.html>
- [26] *SANDVIK: CEMENTED CARBIDE GRADES FOR HOT ROLLING APPLICATIONS* [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: [http://www2.sandvik.com/sandvik/0130/HI/SE03411.nsf/7a5364adb7735b05412568c70034ea1b/a6fde049f098b767c1256b0a0033e58f/\\$FILE/H-9076PD.pdf](http://www2.sandvik.com/sandvik/0130/HI/SE03411.nsf/7a5364adb7735b05412568c70034ea1b/a6fde049f098b767c1256b0a0033e58f/$FILE/H-9076PD.pdf)
- [27] *ATOMAT: Group-CNC Grinding Machine* [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.atomat.com/Products/CNCGrindingMachines.aspx>
- [29] *URDIAMANT: Výroba diamantových nástrojů* [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.urdiamant.cz/>
- [30] *HAAS: Automation* [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://int.haascnc.com/home.asp?intLanguageCode=1033>
- [31] *HAINBUCH: Workholding technology* [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.hainbuch.com/en/home/products/mandrels/mandrel-mando/mandrel-mando-t211.html>
- [32] *TEAGUTEC: MemberImcGroup* [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.taegutec.cz/tcat/strana.php?fnum=55&app=27&produkt=3>
- [33] *EVERYCHINA: BuyFromChinaFactory* [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.everychina.com/buy/c-zbac979/p-32997550/showimage.html>
- [34] *Sinamaster: Cutting Tools* [online]. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <http://www.sinamaster.com/images/Sina-image/SINAMASTER%20Cutting%20Tool%20Catalogue.pdf>

[35] *Advanced Test Equipment Rentals: Surftest SJ-201P* [online]. [cit. 2017-04-04].

Dostupné z: https://www.atecorp.com/ATECorp/media/pdfs/data-sheets/Mitutoyo-SJ-201P_Datasheet.pdf

Přílohy

Příloha A – Kalibrační tabulka

Příloha B - Povolení firmy SAS Třinec, a.s.